DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang. 29. Februar 1924. Heft 9.

Über Scheinbastarde.

Von Hugo de Vries, Lunteren.

In den beiden letzten Jahrzehnten hat sich das Studium der Bastarde eine hervorragende Stelle in der wissenschaftlichen Forschung erworben. Namentlich auf die Erscheinungen der Erblichkeit hat es ein großes Licht geworfen und zahllose neue Tatsachen und Verhältnisse sind dadurch entdeckt worden. Erblichkeitslehre und Bastardlehre werden jetzt gewöhnlich als ein einheitliches Gebiet betrachtet, ein Gebiet, welches seine Grenzen immer weiter auszudehnen bestrebt ist. Doch muß man sich auch hier vor Übertreibung hüten und alte, wohlbegründete Vorstellungen nicht der neuen Richtung opfern.

Durch Kreuzungen werden erblich einheitliche Formen miteinander verbunden und es entstehen Doppelbildungen, welche sich nach reiner Befruchtung in die ursprünglichen Typen spalten können. Diese sehr einfache, allgemeine Regel darf aber keineswegs umgekehrt werden. Aus dem Umstande, daß irgend eine Form sich in ihren Nachkommen spaltet, folgt gar nicht, daß sie ein Bastard sei. Ihr Ursprung mag, im Pflanzenreich, aus stammesgeschichtlichen Gründen auf einheitliche Vorfahren zurückgeführt werden können, aber auch das beweist noch keineswegs eine Bastardnatur. Denn auch ohne Kreuzung können spaltende Typen entwicklungsgeschichtlich aus erblich einheitlichen Arten hervorgehen.

Im Gegensatz zum Tierreich sind im Pflanzenreich weitaus die meisten Arten hermaphroditisch. Dennoch ist es klar, daß dieser Umstand trotz seiner Allgemeinheit ein abgeleiteter ist, der in der geologischen Entwicklung erst verhältnismäßig spät eintrat. Auch begegnet man im natürlichen System wiederholt Arten und Gattungen, ja bisweilen ganzen Familien, welche zum ursprünglichen, zweiförmigen Zustand zurückgekehrt sind. So z. B. die diözischen, die heterostylen, die polygamen Arten usw., welche zunächst den Gegenstand unserer Betrachtungen ausmachen werden. Sie sind in den höheren Ästen des Stammbaumes offenbar aus gewöhnlichen zweigeschlechtlichen Formen hervorgegangen und somit als Rückschläge auf den ursprünglichen normalen Typus zu betrachten. Hier sind die Atavismen normal, während der allgemeine Zustand ein sekundärer ist.

Bevor ich versuche, diese Auffassung durch eine Besprechung der einzelnen Fälle näher zu beleuchten, möchte ich zunächst beschreiben, wie man sich die Entstehung von spaltenden Formen aus einheitlichen vorzustellen hat, mit anderen Worten, wie solche Scheinbastarde entstehen können. Ich beziehe mich dabei auf einen früheren Aufsatz in dieser Zeitschrift (Jahrg. 1919) über die erblichen Ursachen eines frühzeitigen Todes und wähle als Beispiel den Fall von wildwachsenden Arten mit zum Teil gelben Keimlingen. Solche kommen u. a. beim Frauenflachs (*Linaria vulgaris*), bei der Wirtelborste (*Chinopodium vulgare*) und bei der Brunelle (*Brunella grandiflora*) vor. In den betreffenden Rassen gibt es, nach Selbstbefruchtung, drei Arten von Samen. Etwa ein Viertel liefert gelbe Keimlinge, welche vor der Entfaltung der ersten Blätter zugrunde gehen, weil sie sich nicht ernähren können. Ein zweites Viertel erzeugt grüne Pflanzen, deren Nachkommen einförmig grün sind. Die Hälfte bildet aber der Mutterpflanze gleiche, sich in ihrer Nachkommenschaft in derselben Weise spaltende Individuen. Die ganze Spaltung verläuft genau nach der für Monohybriden geltenden Regel. Dennoch können diese Rassen nicht als Bastarde betrachtet werden, denn es ist klar, daß sie nicht aus einer Kreuzung von grünen Pflanzen und gelben, bald absterbenden Keimlingen entstanden sein können. Es handelt sich hier offenbar um einen eigentümlichen Mutationsvorgang. Das Vermögen, Chlorophyll zu bilden, muß in einzelnen Sexualzellen verloren gegangen sein. Als diese sich bei der Befruchtung mit normalen Gameten verbanden, bildeten sie den Keim für ein Individuum, das sich später offenbar in der oben angegebenen Weise spalten mußte, und somit zum Ausgangspunkt der spaltenden Rasse wurde. Äußerlich war von der Mutation nichts zu bemerken und nur durch die spätere Erzeugung der gelben Keimlinge konnte sie sich verraten.

Auf dieses Beispiel können wir nun verschiedene Hypothesen anwenden und namentlich die jetzt geläufige der letalen Faktoren, d. h. des frühzeitigen Absterbens gewisser Samen. Nehmen wir einen solchen Faktor in den reingrünen Keimen an, so würde die Rasse nur noch aus spaltenden Exemplaren nebst gelben Keimlingen bestehen. Nehmen wir ferner an, daß die Mutation nicht den Verlust der grünen Farbe, sondern denjenigen irgendeiner anderen Eigenschaft herbeigeführt hätte, z. B. den Verlust der Verzweigung. Wir hätten dann eine Rasse, welche alljährlich Individuen ohne Äste und somit auch ohne Blüten hervorbringen würde, wie solches z. B. beim sterilen Mais vorkommt.

Oder der Verlust könnte andere Eigenschaften und Organe betreffen, wie z. B. denjenigen der Staubgefäße. Die Rasse würde dann, neben hermaphroditischen Exemplaren, auch solche mit rein weiblichen Blüten hervorbringen.

Damit gelangen wir aber sofort zu einer Erklärung der Entstehung polygamer Spezies. Der Thymian (*Thymos serpyllum*) und die Gundelrebe (*Glechoma hederaceum*) bestehen bekanntlich z. T. aus zweigeschlechtlichen, z. T. aus weiblichen Individuen, bilden aber in dieser Doppelform durchaus konstante Rassen. Offenbar müssen sie zwei Arten von Geschlechtszellen nebst letalen Faktoren besitzen. Bei der Befruchtung entstehen dann drei Typen von Keimen, deren einer die hermaphroditischen Pflanzen liefert, während die beiden anderen teils früh absterben, teils weibliche Individuen bilden. Es ist klar, daß die polygamen Arten nicht etwa durch Kreuzung einer normalen Art mit einer rein weiblichen entstanden sein können, sondern nur durch eine latente Mutation, ganz analog unserem ersten Beispiele.

Für die zweihäusigen oder diözischen Arten gilt genau dasselbe. Nur sind sie einen Schritt weiter in derselben Richtung vorgeschritten, indem auch ein teilweiser Verlust der weiblichen Organe eingetreten ist. Wir müssen somit eine Mutation mehr annehmen, aber die Spaltungen und die Entstehungsweise fügen sich demselben Schema. Daß es zweierlei Art von Sexualzellen gibt, läßt sich durch geeignete Kreuzungen beweisen. Bringt man den Staub der hermaphroditischen Zaunrübe (*Bryonia alba*) auf die Narben unserer einheimischen zweihäusigen Art (*B. dioica*), so erhält man nur weibliche Bastarde. Die Erbanlagen zu den männlichen Pflanzen müssen also in den weiblichen Exemplaren der letzteren Art fehlen, d. h. wohl durch einen letalen Faktor getötet sein. Ist dem so, so muß der Blütenstaub beide Typen von Sexualzellen enthalten und dadurch die alljährliche Spaltung bedingen. Ähnlich verhalten sich wohl die meisten anderen diözischen Pflanzenarten.

Gehen wir noch einen Schritt weiter, so gelangen wir zu den heterostylen Gewächsen. Hier bestehen einige Arten aus zwei, andere aus drei Sorten von Individuen. Die ersteren sind bekanntlich teils kurz-, teils langgrifflig, die letzteren haben dazu noch eine dritte, mittlere Form. Solche Arten bestehen, wie *Baur* es ausdrückt, aus je zwei oder drei in Sexualsymbiose lebenden Sippen. Jede Sippe ist dabei, nach Selbstbefruchtung, fast völlig steril, aber in bezug auf die wenigen keimfähigen Samen konstant. In der Natur finden fortwährend Kreuzungen zwischen den Typen statt, und dadurch erhält sich die Art. Die Kreuzungen aber folgen der bereits besprochenen, für die Monohybriden geltenden Spaltungsregel. Dabei verhält sich, soweit untersucht, die kurzgrifflige Form wie der gemischte Typus, während die langgrifflige einheitlich und rezessiv ist. Um diese Verhältnisse zu erklären, nimmt man somit an, daß die kurzgriffligen Pflanzen zweierlei Sorten von Sexualzellen enthalten, die langgriffligen aber nur eine. Die gegenseitige Befruchtung muß dann teils die Verbindung Kurz × Lang geben und somit spaltungsfähige kurzgrifflige Pflanzen liefern, während die Kombination Lang × Lang die einheitlichen rezessiven langgriffligen erzeugt.

So verhalten sich namentlich die Primeln und der Buchweizen; ihnen schließen sich das Lungenkraut (*Pulmonaria officinalis*) und andere an. Bei den trimorphen Arten von *Lythrum* und *Oxalis* sind die langgriffligen Pflanzen gleichfalls einheitlich und rezessiv, während man für die kurzgriffligen und mittelgriffligen gemischte Zustände annehmen muß.

Die Erbschaften der heterostylen Gewächse müssen offenbar sehr komplex gebaut sein. Mit der Länge des Griffels hängt die Länge der Staubfäden und wohl auch der Ort ihrer Einpflanzung auf die Krone zusammen, dann die Größe und sonstige Eigenschaften des Pollens usw. Namentlich bei den Primeln fallen diese Verhältnisse stark auf. Es ist dieses aber nur ein spezieller Fall der allgemeinen Regel, daß die Eigenschaften, welche die Unterschiede der Arten bedingen, meist zu zusammengesetzten Faktoren verbunden sind und als solche vererbt werden. Die Merkmale der Varietäten aber beruhen zumeist auf einzeln vererbbaren Anlagen. Aber eine scharfe Grenze zwischen beiden gibt es nicht.

Während die angeführten Beispiele von hochdifferenzierter Ditypie im Pflanzenreich verhältnismäßig selten sind, ist eine Art von Zweiförmigkeit ohne solche Differenzierung weit verbreitet. Ich meine die Selbststerilität. Man erkennt sie daran, daß isolierte Individuen im Garten keine Samen ansetzen. Es bedarf dazu des Pollens einer anderen Pflanze derselben Art. Es müssen somit zwei Typen von Sexualzellen vorhanden sein, welche nur bei gegenseitiger Verbindung keimfähige Samen liefern. In einigen Beispielen läßt sich dieses klar und deutlich zeigen, aber in den meisten Fällen sind noch keine eingehenden Untersuchungen angestellt worden. Dennoch scheint mir das Studium der Selbststerilität viel wichtigere Aufschlüsse zu versprechen als selbst die schönen Anpassungen der Heterostylie und der Diözie.

Der Frauenflachs (*Linaria vulgaris*) ist in unserer Gegend selbststeril, vermehrt sich durch Wurzelknospen und verbreitet sich namentlich durch ihre Samen. Um die Natur ihrer Sterilität zu studieren, pflanzt man aus Samen erzogene Exemplare paarweise nebeneinander, beschützt sie durch Käfige aus feinem Drahtnetz gegen den Besuch der Insekten und kreuzt die beiden Exemplare eines jeden Paares nur mit einander. Das Ergebnis ist dann, daß etwa die Hälfte der Paare keine oder nahezu keine Früchte ausbilden, während in der anderen Hälfte jedesmal beide

Pflanzen eine normale Fruchtbarkeit aufweisen. Wir folgern daraus, daß für jedes Exemplar etwa die Hälfte der übrigen legitim oder befruchtungsfähig, die andere Hälfte aber illegitim sind. Es muß somit zweierlei Art von Sexualzellen geben, sowohl im Pollen wie in den Eizellen, und nur die Verbindung der beiden Typen bei der Befruchtung muß imstande sein, keimfähige Samen hervorzubringen.

Ganz ähnlich verhält sich nach den Untersuchungen *Dahlgrens* die rundblättrige Lysimachie (*Lysimachia Nummularia*). Wo man diese Art im Freien antrifft, ist sie steril, ohne Kapseln. Sie vermehrt sich nur auf vegetativem Wege. *Dahlgren* pflanzte nun die norddeutsche Form mit der österreichischen auf einem Beete zusammen, und zwar in abwechselnden Reihen, und überließ die Bestäubung den Insekten. Beide Formen bildeten reichlich Früchte aus. Die eine bedurfte somit des Pollens der anderen und künstliche Kreuzungen zwischen Individuen von verschiedener Herkunft bestätigten die allgemeine Gültigkeit der Regel.

Sehr zahlreiche Arten sind auf isolierten Exemplaren unfruchtbar. Bei den Fruchtbäumen, wie Äpfel, Birnen, Pflaumen und Kirschen, wo die Varietäten nur vegetativ vermehrt werden, sind diese steril und *Hedrick* empfiehlt daher stets zwei Varietäten reihenweise nebeneinander zu pflanzen. Man braucht nur darauf zu achten, daß man gleichzeitig blühende Sorten wählt. Manche Gräser, z. B. *Lolium perenne*, Arten von Tabak, von Zichorie, von *Veronica* und manche andere liefern bekannte Beispiele. Unter den gewöhnlichen Gartenpflanzen gibt es viele, welche auf einzeln stehenden Exemplaren keine Samen ansetzen. So z. B. *Bartonia aurea, Chaenostoma fastigiatum, Chrysanthemum segetum, Convolvulus cupanicus, Cotula aurea, Nemesia versicolor, Nierembergia gracilis, Polycalymna Stuarti, Podolepis chrysantha, Verbena erinoides* u. a. Auch der Rotklee gehört zu dieser Gruppe und seine weißblühende Varietät läßt sich zu einer klaren Beleuchtung der Regel verwenden. Diese Varietät ist nämlich ebenso stelbststeril wie die Art und gibt auf den Äckern nur weißblühende Nachkommen. Pflanzt man nun eine einzelne Pflanze der Varietät auf einem Beete des normalen roten Klees, so werden die Bienen ihre Blüten teilweise mit dem eigenen Staub, teilweise mit dem der roten Blüten befruchten. Die Ernte wird eine normale, doch liefern die Samen ausschließlich rotblühende Pflanzen. Es findet somit nur Kreuzbefruchtung statt und keine Selbstbefruchtung, trotz der anscheinend so äußerst günstigen Bedingungen.

Manche Arten von Klee geben bei Isolierung zwar einige Samen, aber keine normalen Ernten. Ebenso verhalten sich Arten aus einigen anderen Gattungen. Hier sind die Verhältnisse vermutlich noch komplizierter, aber eingehende Untersuchungen liegen noch nicht vor.

Aus allen den angeführten Beispielen ist es klar, daß Pflanzen ebenso wenig erblich einheitlich zu sein brauchen wie die Tiere. Unter den höheren Gewächsen ist eine solche Einförmigkeit allerdings weit verbreitet, aber in sehr zahlreichen Familien findet man Rückschläge zum normalen, sexualdimorphen Typus. Dieser bildet die Regel, trotz ihrer Seltenheit, während die hermaphroditischen Pflanzen, wie bereits hervorgehoben, als abgeleitete Fälle zu betrachten sind.

Einen besonderen Fall von sexueller Zweiförmigkeit bietet uns die Gruppe der Nachtkerzen. Hier handelt es sich nicht um eine Zusammensetzung der Arten aus zwei Typen von Individuen; gerade im Gegenteil sind alle Exemplare einer Art einander in erblicher Beziehung durchaus gleich. Dennoch kommen je zwei Sorten von Sexualzellen vor. Wie man die Diözisten und Heterostylen als Sexualsymbionten bezeichnet, könnte man hier von einer gametischen Sexualsymbiose sprechen, indem zwei Arten von Gameten oder Geschlechtszellen jedesmal für die Fortpflanzung der Art zusammenwirken müssen. Diese eigentümliche Zusammensetzung hat manche Forscher zu der Ansicht geführt, daß die fraglichen Nachtkerzen Bastarde seien. Dann müßte man aber für jede solche Art zwei einheitliche Vorfahren voraussetzen. Solche sind aber nirgendwo aufgefunden worden, trotzdem die Reihe der betreffenden Arten eine ziemlich lange ist. Offenbar handelt es sich hier nur um Scheinbastarde, deren Entstehung man sich in derselben Weise vorzustellen hat, wie in den im Anfange besprochenen Beispielen. Sie müssen ihre innere Dimorphie einer inneren Mutation verdanken, welche nicht zu der Abspaltung einer neuen Art führen konnte, sondern eine bastardähnliche Zusammensetzung hervorrief.

Mehrere Formen von innerer Dimorphie sind möglich, aber von diesen sind nur zwei bei den Önotheren derart vertreten, daß sie hier eine Erwähnung beanspruchen können. In beiden spielen letale Faktoren eine wichtige Rolle, indem sie die Konstanz der Art trotz des Vorhandenseins von zweierlei Arten von Sexualzellen bedingen. Aber die Faktoren sind nicht dieselben und wirken zu verschiedenen Zeiten des Entwicklungsganges, die einen vor der Befruchtung, die anderen erst nach dieser. Beide Typen kommen unter den in Europa weitverbreiteten Arten vor, und auf diese wollen wir uns hier beschränken. Bei *Oenothera biennis* und *O. muricata* findet das Absterben in einem Teile der Sexualzellen, bei der großblütigen *O. Lamarckiana* aber erst unter den befruchteten Keimen, innerhalb der heranwachsenden Samen statt. Wir betrachten zunächst die beiden erstgenannten Arten.

Äußerlich unterscheiden sich *Oenothera biennis L.* und *O. muricata L.* von gewöhnlichen guten Arten in keiner Beziehung. Sie wurden bereits von *Linnaeus* als solche unterschieden und

beschrieben. Sie besitzen Samen von normaler, nahezu vollständiger Keimkraft. Auch in Untersuchungen über Erblichkeitserscheinungen wurde namentlich *O. biennis* vielfach als das typische Vorbild einer reinen Art benutzt. Aber in ihren Bastarden zeigen sie Abweichungen von der gewöhnlichen Regel. Diese sind nämlich reziprok ungleich. D. h. daß, wenn man O. *biennis* mit *O. muricata* befruchtet, man eine andere Bastardform erhält als bei der umgekehrten Verbindung. Es folgt daraus, daß der Pollen teilweise andere erbliche Eigenschaften überträgt als die Eizellen, und dieses trifft für beide Arten zu. Kreuzt man nun ferner die beiden Bastarde miteinander, so erhält man die sogenannten doppelt-reziproken Typen. Dabei erzeugt (*Biennis* × *Muricata*) × (*Muricata* × *Biennis*) nur Pflanzen vom reinen Typus *O. biennis*, und (*Muricata* × *Biennis*) × (*Biennis* × *Muricata*) nur solche mit den Eigenschaften der *O. muricata.* Man pflegt dieses so auszudrücken, daß man sagt, daß in den doppelt-reziproken Kreuzungen die zentralen Voreltern in den Formeln ausgestoßen werden.

Man nimmt nun an, daß beide Arten je zwei Sorten von Sexualzellen erzeugen, ähnlich wie in den früher besprochenen Beispielen, daß aber im Pollen die eine Sorte abstirbt und in den Eizellen die andere. Die überlebenden verbinden sich dann bei der Befruchtung und erzeugen jedesmal eine der Mutter gleiche Pflanze. Um das Absterben zu erklären, nimmt man letale Faktoren an, und zwar teils androletale, welche einen Teil des Pollens töten, teils gynoletale, welche die Eizellen für die Befruchtung untauglich machen. Es bedarf dann ferner noch der Annahme, daß die Artmerkmale aus zwei Gruppen zusammengesetzt sind, und daß die eine Gruppe mit dem einen Faktor, die andere aber mit dem anderen fest verbunden ist. Voraussetzung bei diesen Hypothesen ist aber die Verbindung der Eigenschaften zu komplexen Gruppen, welche sich bei der Befruchtung und bei Kreuzungen wie Einheiten verhalten und keinen Spaltungen unterliegen. Die einzelnen Faktoren sind unzertrennbar aneinander gekoppelt. Wäre dem nicht so, so müßte im Laufe der Jahrhunderte von Zeit zu Zeit ein Auswechseln stattfinden und die Arten würden sich allmählich in zahlreiche Unterarten gespalten haben. Das ist aber nicht geschehen, denn *O. muricata* mutiert nicht, soviel man weiß, und *O. biennis* spaltet nur Mutanten mit rezessiven Merkmalen ab, wie die Zwerge, die schwefelgelben Blüten usw. Eine solche dauerhafte Koppelung der Artmerkmale ist im Pflanzenreich wahrscheinlich die allgemeine Regel, aber die Nachtkerzen sind vorläufig das beste, wenn nicht das einzige Material, sie experimentell zu studieren.

Die zweite Form der inneren Dimorphie wird, wie gesagt, von *Oenothera Lamarckiana* vertreten. Auch hier gibt es nach *Renners* bahnbrechenden Untersuchungen zwei Typen von Sexualzellen, aber kein bezügliches Absterben vor der Befruchtung. In jedem Typus sind die Eigenschaften wiederum fest aneinander gekoppelt und ferner an einen letalen Faktor, der die Keime nach der Befruchtung, in den ganz jungen Samen tötet. Dies geschieht aber nur, wenn der Keim von beiden Seiten dieselbe Todesursache erhält, nicht aber wenn zwei verschiedene Komplexe sich in ihm verbunden haben. Demzufolge sterben die erblich einheitlichen Keime ab, während nur diejenigen mit gemischten Anlagen sich weiter entwickeln können. In dieser Weise bleibt die Art im Laufe der Generationen äußerlich rein, bringt aber alljährlich etwa zur Hälfte taube Samen hervor.

Die besprochenen Oenotheren verhalten sich somit wie Scheinbastarde, indem sie sich nach der auch für die Monohybriden geltenden Regel spalten. Sie sind aber offenbar keine wirklichen Bastarde, weil die Typen, aus denen sie aufgebaut sind, gerade wegen ihrer letalen Faktoren nicht existenzfähig sind, und somit niemals als Arten oder Rassen gelebt haben können. Sie müssen aus früheren, reinen Arten in derselben Weise entstanden sein wie die Diözisten, die Heterostylen und manche selbststerile Formen. Oder vielleicht sind sie derart stammesverwandt, daß sie einem einmaligen inneren Umschwung ihr Dasein verdanken. Jedenfalls sind sie aus dem phylogenetisch sekundären, erblich einheitlichen Zustande zu dem normalen Typus einer inneren Dimorphie zurückgekehrt. Aber von den früher besprochenen Beispielen unterscheiden sie sich dadurch, daß sie nicht aus je zwei äußerlich verschiedenen Formen bestehen, sondern in ihrem Erscheinen einförmig sind.

Zum Schlusse bleibt noch ein wichtiger Punkt zu betrachten übrig. Ich meine die Frage nach der Beziehung der Mutabilität der *Oenothera Lamarckiana* zu dieser inneren Dimorphie. Manche Autoren haben angenommen, daß die letztere die Ursache der ersteren sei und daß die Spaltungsvorgänge auf ein Auswechseln von Faktoren zwischen den beiden Typen von Sexualzellen beruhen dürften. Das mag für einzelne Mutationsvorgänge wohl zutreffen, namentlich für die rezessiven oder Verlustmutationen. Aber solche sind im Pflanzen- und Tierreich so weit verbreitet, daß sie keinen besonderen Charakter der Oenotheren darstellen. Weitaus die Mehrzahl der Neubildungen in unserer Spezies können aber in dieser Weise nicht erklärt werden. Sie sind viel zu zahlreich und viel zu mannigfach, um je sämtlich als Artmerkmale unter den Vorfahren von *Lamarcks* Nachtkerze aufgetreten zu sein. Auch sind sie nicht rezessiv, sondern in ihren Trägern stets sichtbar.

Entscheidend ist aber der Umstand, daß innere Dimorphie auch ohne auffallende Mutabilität auftreten kann. Selbst die äußerlich sichtbare

Zweiförmigkeit pflegt einen solchen Erfolg nicht zu haben. Weder von den Diözisten, noch von den Heterostylen ist irgendwelcher auffallender Grad von Mutabilität bekannt geworden, und dasselbe gilt von den selbststerilen Arten. Wäre Dimorphie an sich eine Ursache des Mutierens, so dürfte letzteres bei weitem nicht so selten sein, wie es jetzt ist. Aber auch unter den Oenotheren kann man einen entscheidenden Beweis finden, und zwar in der bereits besprochenen *O. muricata*. Denn von dieser bei uns weit verbreiteten Art kennt man, trotz ausgedehnter und sorgfältiger Kulturen, bis jetzt keine oder doch fast keine Mutanten. Wäre der Besitz von zwei Sorten von Sexualzellen die Ursache der Mutabilität, so müßte sich diese doch wohl in allen innerlich dimorphen Oenotheren zeigen. Da dem aber nicht so ist, ist es klar, daß ähnliche ursächliche Bedingungen auch bei *Lamarcks* Nachtkerze nicht vorliegen. Die innere Dimorphie erleichtert vielleicht das Sichtbarwerden der Mutationen, aber ihre Ursache ist sie gewiß nicht.

Auch weiß man, daß Kreuzungen kein Mittel sind, um die Mutabilität zu erhöhen. Die ausgedehnten Bastardierungsversuche von *Baur* mit dem Löwenmaul (*Antirrhinum majus*) lassen darüber keinen Zweifel, und auch in der Gattung *Oenothera* liegen zahlreiche Beweise vor. Denn hier liefern unmutabele Arten keine mutabelen Bastarde und selbst Mutanten, welche die Mutabilität nahezu gänzlich verloren haben, können diese durch Kreuzungen nicht wieder erhalten.

Neue Versuche über Biolumineszenz[1]).

Von E. Newton Harvey, Ph. D., Princeton.

Wenige Gegenstände berühren so verschiedene Forschungsgebiete und ziehen das Interesse so vieler Untersucher auf sich, wie die Erscheinung der Biolumineszenz, der Erzeugung von Licht bei Tieren und Pflanzen. Wendet sie sich doch an den Morphologen, den Physiologen, Chemiker, Physiker, den Philosophen und den Beleuchtungstechniker. Wer einmal in einer Hochsommernacht die Fluren voll der leuchtenden Blitze zahlloser Glühwürmchen gesehen hat oder die vom Schiff durchfurchten Wellen auflodern sah, muß über dieses Schauspiel staunen. Wer nicht jeglicher Phantasie bar ist, wird nachforschen wollen, wie und wozu dieses Licht ausgesandt wird, oder ob wir nicht eines Tages auch nach dem Vorbild der Natur imstande wären, ein solches „kaltes Licht“ zu erzeugen.

Bei dem beschränkten Raum, der mir zur Verfügung steht, kann ich nur die wichtigsten Tatsachen der Biolumineszenz darlegen und einige neue Experimente erörtern, die sich auf die physikalische Chemie des Prozesses beziehen. Die leuchtenden Lebewesen gehören recht verschiedenen Gruppen des Tier- und Pflanzenreiches an und verfügen über die mannigfachsten Typen von Leuchtorganen, von einzelnen Zellen angefangen bis zu komplizierten Lampen mit Linsen, Reflektoren, dunklen und farbigen Schirmen. Aber nur wenige von ihnen sind für die physikalisch-chemische Untersuchung von Wert, da viele seltene Tiefseeformen darstellen, andere aus anatomischen Gründen untauglich sind, und es ist vor allem wichtig, eine für die Untersuchung günstige Form ausfindig zu machen. Vier sind als klassische Objekte zu betrachten: 1. die Leuchtkäfer, 2. Leuchtbakterien, 3. Pholas, eine Muschel und 4. Cypridina, ein Krebs.

Nach meinen Erfahrungen ist Cypridina ein ungewöhnlich günstiges Studienobjekt. Es handelt sich dabei um einen kleinen, 3—5 mm langen Ostrakoden, der aus einer nächst dem Munde gelegenen Drüse eine relativ beträchtliche Menge leuchtender Materie in das Seewasser, in dem er lebt, absondert. Die Leuchterscheinung ist also eine extracellulare und solche Organismen, bei denen dies der Fall ist — auch Pholas gehört zu ihnen — sind für die chemische Untersuchung besonders geeignet. Andererseits sind Formen, die das Licht nur innerhalb ihrer Zellen erzeugen — intrazellulare Lumineszenz —, wie Bakterien oder Lampyriden, zwar für chemische Analyse nicht so günstig, wohl aber für anders gerichtete Studien von Wert.

Das meiste über die physikalische Natur des tierischen Lichtes wurde an den Lampyriden erarbeitet. Das Spektrum stellt ein kontinuierliches Band dar, in dem helle oder dunkle Bänder oder Linien fehlen, und liegt ganz im sichtbaren Teil desselben von $\lambda = .59\,\mu$ bis $\lambda = .51\,\mu$. Die Verteilung der spektralen Energie ist bekannt, ihr Maximum liegt bei $\lambda = .55\,\mu$ (Photuris pennsylvanica). Andere leuchtende Formen haben ähnliche Spektra, aber in anderen Teilen des sichtbaren Abschnittes, so daß das Licht verschiedener Tiere auch verschiedene Farbe besitzt. Über die Erzeugung infraroter, ultravioletter oder durchdringender Strahlen ist bei keiner Form etwas bekannt. Tierisches Licht gleicht jedem anderen sichtbaren Licht, ist beim Entstehen nicht polarisiert, aber es kann polarisiert, refraktiert und reflektiert werden und vermag entsprechend seiner Wellenlänge photochemische Wirkungen zu erzielen.

Es wurde schon frühzeitig bekannt, daß leuchtende Gewebe, schnell getrocknet, wieder aufleuchten, wenn sie aufs neue angefeuchtet werden. Dies stellt eine zweckmäßige Methode dar, um Leuchtmaterie für späteren Gebrauch aufzubewahren. In trockenem Zustand läßt sich ein Leuchteffekt höchstens mit Mitteln erzielen,

[1]) Die Schriftleitung verdankt die Übersetzung aus dem Original Herrn Prof. Dr. *Paul Buchner*, Greifswald, Zoologisches Institut der Universität.

die auf jegliche organische Substanz eine solche Wirkung ausüben. Das Licht der Tiere stellt keine Fluoreszenz oder echte Phosphoreszenz dar, sondern ist vom Vorhandensein freien Sauerstoffs abhängig. Dies war zuerst von *R. Boyle* im Jahre 1667 bemerkt worden und läßt sich an Leuchtbakterien sehr schön darlegen. Man läßt eine Emulsion von solchen in Seewasser in einem Reagenzglas stehen. Je nach der Menge der vorhandenen Bakterien wird die Röhre, die vorher durch und durch glühte, abgesehen von der mit der Luft in Berührung befindlichen Oberfläche, in Bälde völlig dunkel: die Bakterien haben allen im Seewasser vorhandenen Sauerstoff verbraucht. Mit Luft geschüttelt, beginnt das Glas wieder überall zu leuchten.

Beijerinck verwandte diese Methode, um die CO_2 zerlegende Tätigkeit der lebenden Zellen entnommenen Chloroplasten zu demonstrieren. Ein Gemisch von Leuchtbakterien und gänzlich zermahlenen Kleeblättern mit darin suspendierten Chloroplasten wird in völliger Dunkelheit stehen gelassen, bis jeglicher Sauerstoff in ihm aufgebraucht und die Tube dunkel geworden war. Zündet man ein Zündholz an, so veranlaßt das die Chloroplasten treffende Licht diese, für die Dauer der Photosynthese CO_2 zu zerlegen und hat das Freiwerden von Sauerstoff im Gefolge. Dieser aber läßt, bis er wieder verbraucht ist, die Bakterien für kurze Zeit aufleuchten.

Da wir in den erwähnten Experimenten Leuchtbakterien zum Sauerstoffnachweis benutzten, erscheint es angebracht, zu prüfen, welche Sauerstoffkonzentrationen auf solche Weise noch aufgedeckt werden können. Es ist ohne weiteres klar, daß bei jeder Bestimmung solch geringer Sauerstoffkonzentration einmal die Leuchtbakterienemulsion in stetem Gleichgewicht mit einer gewissen Menge indifferenten Gases gehalten werden muß, die einen so geringen Prozentsatz von Sauerstoff führt, daß ein gerade noch sichtbares Licht erzeugt wird, und ferner, daß die Konzentration der Bakterien hinreichend gering sein muß, damit die fortgesetzte Verwertung des Sauerstoffes durch dieselben das Gleichgewicht nicht stört.

Mr. *Morrison* und ich haben jüngst eine solche Bestimmung ausgeführt. Mittels Gasuhren wurde von Sauerstoff völlig freier Wasserstoff mit elektrolytischem Wasserstoff, der eine bekannte geringe Sauerstoffmenge (ungefähr 0,34 %) enthielt, gemischt und das Gemenge durch eine etwa 28 mm Durchmesser messende Röhre mit den Leuchtbakterien geleitet. Der reine Wasserstoff und der eine geringe bekannte Sauerstoffmenge führende können so in jeder beliebigen Proportion gemischt werden. Es stellte sich heraus, daß, wenn der vorhandene Sauerstoff auf weniger als 0,0007 % reduziert wird, für das völlig dunkel adaptierte Auge kein Licht mehr zu erkennen ist.

Dies entspricht einem Raumteil Sauerstoff auf 143 000 Teile Wasserstoff oder 0,0053 mm Sauerstoffdruck. Unter der Annahme, daß *Henrys* Gesetz für die Lösung von Gasen Geltung hat, wird, da 1 ccm Seewasser bei 20 ° C und 760 mm Druck ungefähr 0,027 ccm Sauerstoff löst, in jedem Kubikzentimeter Seewasser, das bei 0,0053 Millimeter Sauerstoffdruck sehr schwach leuchtende Bakterien enthält, 0,000 000 19 ccm (oder ungefähr 0,000 000 000 27 Gramm) Sauerstoff oder 1 Teil Sauerstoff in 3 700 000 000 Seewasser enthalten sein.

Aus diesem Ergebnis geht klar hervor, daß Leuchtbakterien als sehr genaue Gradmesser für Sauerstoff dienen und — die Abwesenheit giftiger Gase vorausgesetzt — zu seinem Nachweis verwendet werden können.

Über die Beziehungen zwischen Lichtintensität und Sauerstoffkonzentration ist zurzeit eine Untersuchung im Gang. Quantitative Resultate stehen noch nicht zu Gebote, aber es mag der Hinweis darauf genügen, daß entsprechend dem Anwachsen des Partialdruckes des Sauerstoffes das Leuchtvermögen zu einem Maximum anschwillt, das ziemlich unter dem Partialdruck des Sauerstoffs in der Luft liegt. Größerer Sauerstoffdruck ergibt keine größere Lichtintensität. Wir müssen schließen, daß die Kurve Sauerstoffspannung-Lichtintensität der Sauerstoffspannung-Hämoglobinsättigungskurve ähnlich ist. Gerade wie Hämoglobin bei niederem Druck nahezu mit Sauerstoff gesättigt ist und eine leuchtend rote Farbe bekommt, so wird auch das leuchtende Material bei niederem Druck mit Sauerstoff gesättigt und glüht intensiv. Ungeachtet einiger gegenteiliger irrtümlicher Berichte vermag kein leuchtender Organismus bei völliger Abwesenheit gasförmig gelösten Sauerstoffes zu leuchten.

Es liegt auf der Hand, daß irgend eine Substanz in dem Leuchtorganismus unter Lichterzeugung oxydiert wird. Sie wurde von *Dubois*, der 1887 die grundlegende Entdeckung gemacht hat, daß ein Enzym, die Luziferase, ebenfalls zur Lichterzeugung nötig ist, Luziferin genannt. Seit *Dubois'* Studien an einem Elateriden (Pyrophorus) und an einer Muschel Pholas wurde Luziferin und Luziferase weiterhin bei den Glühwürmchen, dem Ostrakoden Cypridina und dem Wurm Odontosyllis aufgefunden. Charakteristische Unterschiede in den Eigenschaften machen es leicht, die zwei Substanzen auseinander zu halten.

Die gewöhnlichen Methoden, Luziferin und Luziferase zu gewinnen, sind sehr einfach. Luziferin wird hergestellt, indem man heißes Wasser zu dem Leuchtorgan des Tieres fügt oder das leuchtende Extrakt bei Temperaturen, die das Licht dauernd unterdrücken, rasch erhitzt oder durch Kochen. Auf solche Weise wird die Luziferase durch die Hitzewirkung zerstört, bevor das Luziferin, dem das Erhitzen nichts anhat, völlig oxydiert wird. Sorgfältig muß man darauf achten, die Luziferase so schnell als möglich zu

zerstören, bevor sie Zeit findet, das Luziferin zu oxydieren. Daher der Kunstgriff, das heiße Wasser rasch auf die Leuchtdrüsen zu gießen. Weiterhin muß man beachten, das Luziferin nicht bei zu hoher Temperatur zu erhitzen, oder zu lange, da es unter solchen Umständen zerstört würde. Daher die Vorschrift, ein leuchtendes Extrakt genau bis zu dem Punkte, wo das Licht dauernd erlischt, zu erhitzen.

Luziferase wird hergestellt, indem man ein Kaltwasserextrakt der Leuchtdrüsen stehen läßt, bis das Luziferin völlig oxydiert ist. Das kann beschleunigt werden, indem man die Lösung schüttelt, damit sie gut mit Luft versorgt wird, oder durch sanftes Erwärmen, das nicht hinreicht, die Luziferase zu zerstören, oder durch Hinzufügen von Substanzen wie Chloroform, Saponin oder Natriumglykocholat. Diese Substanzen machen offenbar das Luziferin frei, das in irgend einer Weise in der Lösung gebunden ist, manchmal vielleicht, indem sie Cytolyse noch intakter Leuchtzellen oder die Lösung von Leuchtgranulis (Granulysis) verursachen. Wird eine Lösung von Luziferase, die selbst völlig dunkel ist, zu einer ebenfalls kein Leuchten zeigenden Lösung von Luziferase gefügt und mit ihr gemengt, so resultiert ein brillanter Lichteffekt, der anhält, bis das Luziferin völlig oxydiert ist.

Hierbei ist zu beachten, daß eine Lösung von Luziferase auch das Oxydationsprodukt des Luziferins enthalten muß, das ich als Oxyluziferin bezeichnet habe. Oxyluziferin kann wieder zu Luziferin reduziert werden, so daß sich mit einem Kaltwasserextrakt von Cypridina zahlreiche interessante Reduktionsversuche anstellen lassen. Einige von ihnen sollen im folgenden beschrieben werden.

Luziferin und Luziferase können mit chemischen Methoden wie irgend eine andere organische Substanz studiert werden. Sie können durch verschiedene Reagentien gefällt werden, sind in bestimmten Lösungsmitteln löslich, können bei saurer Hydrolyse zerlegt oder durch einige Enzyme verdaut werden. Chemisch hat Luziferase die Eigenschaften eines Albumins, und Luziferase hat gewisse Eigenschaften gemeinsam mit den Peptonen, obwohl es nicht sicher ist, ob sie wirklich ein Pepton darstellt.

In sehr verdünnter Lösung vereint erzeugen beide Stoffe eine Lichterscheinung. Ich habe versucht, von dieser schwachen Konzentration eine genaue Vorstellung zu gewinnen, indem ich gewisse Annahmen bezüglich der Mengenverhältnisse von Luziferin und Luziferase im Tier machte. Wenn wir annehmen, daß 1% Trockensubstanz einer Cypridina aus Luziferin besteht, dann kann man in Verdünnungsversuchen zeigen, daß 1 Teil Luziferin in 40 000 000 000 Teilen Seewasser in einem Reagenzglas von 18 mm Durchmesser ein sichtbares Licht ergibt. Stellt das Luziferin 10% der Trockensubstanz dar, so gibt 1 Teil reines Luziferin unter gleichen Bedingungen noch in 4 000 000 000 Teilen Seewasser ein sichtbares Licht. Die Wirklichkeit liegt wahrscheinlich zwischen diesen Werten und repräsentiert somit tatsächlich eine sehr stark verdünnte Lösung der Leuchtmaterie. Diese Konzentrationen sind ungefähr 1000mal geringer als die von Farblösungen, die unter gleichen Bedingungen gerade noch als schwache Farben mit dem Auge erkannt werden können.

Da Luziferin und Luziferase so leicht isoliert werden können und nach Vereinigung eine helle Lichterscheinung ergeben, die genügend lange andauert, um ihre Intensität zu messen, können wir von dieser Reaktion auch Gebrauch machen, um die kinetischen Verhältnisse dieses Vorganges zu untersuchen. Nach der Vermengung nimmt die Lichterscheinung allmählich an Intensität ab und das Studium dieser sinkenden Kurve hat interessanten Einblick in den Verlauf der Oxydation des Luziferins ergeben. Allerdings ist die Photometrie bei relativ schwachen Lichtquellen an sich eine unsichere Sache, sie wird es aber noch mehr, wenn die Lichtintensität ständigem Wechsel unterworfen ist, beziehungsweise, wie das bei dem nachlassenden Cypridinaleuchten der Fall ist, kontinuierlich geringer wird. Das Problem bietet beträchtliche Schwierigkeiten, konnte aber von Dr. *W. R. Amberson* mittels photographischer Methoden gelöst werden. Er hat das Licht auf einem sich bewegenden Film, der auf der Trommel eines der gewöhnlich in den physiologischen Laboratorien gebräuchlichen Kymographen aufgewickelt war, photographisch aufgenommen. Der Behälter der leuchtenden Mischung besteht dabei aus einem mit schwarzer Farbe überzogenen und nächst der Trommel angebrachten Glastubus. Auf einer Seite bleibt ein schmaler Spalt, durch den das Licht unmittelbar auf den Film fallen kann. Eine Rührvorrichtung und ein Thermometer sind ebenfalls in dem Tubus angebracht und eine Pipette, die die Luziferase enthält, ist derart darin befestigt, daß die Luziferase gleichzeitig mit dem Luziferin, das in die Tube gegeben ist, gemischt werden kann. Mit zwei solchen Tuben ist es möglich, gleichzeitig zwei Aufnahmen auf dem gleichen, sich bewegenden Film zu bewerkstelligen. Eine Kontrollaufzeichnung muß ebenfalls auf demselben aufgeschrieben werden. Nimmt man auf solche Weise während der Umdrehung der Trommel Aufzeichnungen, so beobachtet man anfangs einen schwarzen Streifen, der entsprechend der Rotierung des Films und der allmählich weniger intensiv werdenden Lumineszenz verblaßt. Die Kontrollmeßexpositionen wurden mit der Absicht gemacht, die Schwärzung zu bestimmen, die eine gegebene Lichtintensität auf dem Film hervorruft. Dies wurde erreicht, indem man das Licht dieser Lichtquelle, bevor es den Film trifft, durch neutrale Filter von bekanntem Absorptionsvermögen fallen ließ, und mußte aufgenommen werden, nachdem die Auf-

zeichnung auf der bewegten Trommel ausgeführt war. Die Ablesungen sind nicht absolut, sondern relativ, in willkürlichen Einheiten gemacht und berichten nur, welche Intensität das Licht nach einem gegebenen Intervall verglichen mit dem anfänglichen besitzt.

Dr. *Amberson* hat nun den Effekt der Veränderung der Konzentration des Luziferins und der Luziferase sowie der Temperatur studiert. Sauerstoff ist hierbei stets in so hohen Konzentrationen vorhanden, daß er die Lichtintensität nicht beeinflußt, selbst wenn sein Gehalt im Laufe des Versuches etwas schwankt. Wenn wir in einem Koordinatensystem die Lichtintensität auf die Ordinaten-, die Zeit auf die Abszissenachse auftragen, so stellen die erhaltenen Kurven stets gerade Linien dar. Dies ist genau das zu erwartende Resultat, wenn die Oxydation des Luziferins eine monomolekulare Reaktion darstellt, deren Reaktionsgeschwindigkeit die Lichtintensität bestimmt, und bringt den Beweis dafür, daß von der Reaktionsgeschwindigkeit — natürlich innerhalb gewisser Grenzen — die Lichtintensität abhängt.

Die Lichtintensität (Reaktionsgeschwindigkeit) ist wahrscheinlich ungefähr proportional der Konzentration der Luziferase und des Luziferins und verdoppelt oder verdreifacht sich bei einer Temperaturerhöhung von 10°. Anfangs gibt es interessanterweise ein intensives, 1—2 Sekunden andauerndes Aufleuchten, intensiver als man es der Theorie nach voraussagen würde. Dieses Aufleuchten läßt Bedingungen, wie sie in einem heterogenen System bestehen, vermuten, aber ich habe nicht den Raum, hier diese Frage weiter zu erörtern.

Wir müssen das tierische Leuchten als eine Lichtproduktion ansehen, die die Oxydation eines bestimmten organischen Körpers, der von den Zellen des Organismus gebildet wird, des Luziferins, begleitet. Die Schnelligkeit der Oxydation bestimmt die Intensität des Lichtes; von der Natur der Enzyme scheint die Farbe desselben abzuhängen, aber wir kennen diese Verhältnisse noch nicht genügend, um definitive Angaben machen zu können. Das Luziferin muß von irgend einer Vorstufe in der Zelle stammen und wird, wie ich bereits mitgeteilt habe, durch Oxydation in Oxyluziferin umgewandelt. Das Oxyluziferin aber kann von neuem zu Luziferin reduziert werden.

Ich habe oft beobachtet, daß Extrakte von Cypridina, die entsprechend der Art der Herstellung Oxyluziferin enthalten mußten, weit mehr Licht zu erzeugen vermochten, wenn sie einige Tage standen. 1918 fand ich, daß dies durch die Reduktion des Oxyluziferins durch Bakterien, die in der Lösung wuchsen und deren starke reduzierende Fähigkeit wohlbekannt ist, bedingt war. Daneben sind manche andere Mittel zur Reduktion des Oxyluziferins möglich, einschließlich der Anwendung wohlbekannter Reduktionsmittel. Substanzen wie Hydrosulfid und andere Sulfide, die Wasserstoff erzeugende Wirkung von Säuren oder Alkalien auf Metalle, Palladium und Natriumhypophosphid oder reduzierende Enzyme aus verschiedenen Geweben vermögen Oxyluziferin zu reduzieren.

Sehr interessante Phänomene werden beobachtet, wenn bestimmte Metalle in eine auch Luziferase und zum Zwecke der Leitfähigkeit etwas Salz enthaltende Lösung von Oxyluziferin gebracht werden. In einer solchen Lösung leuchten die Metalle Al, Mn, Zn und Cd. Dies ist durch die Bildung einer Schicht naszierenden Wasserstoffes, der das Oxyluziferin zu Luziferin reduziert, bedingt. Dieses neugebildete Luziferin oxydiert dann in der Zone gerade über dem Metall unter Lichterscheinung. Die Metalle Fe, Cu, Ag oder Pt andererseits leuchten in einer Oxyluziferinlösung, die Luziferase enthält, nicht. Bringt man jedoch eines der Metalle der ersten Gruppe (Al, Mn, Zn, Cd) mit einem der zweiten (Fe, Cu, Ag, Pt) in Berührung, so beginnt die letztere, solange beide Metalle in der Lösung sind, zu leuchten, während die erstere Gruppe dann weniger hell leuchtet als zuvor. Offensichtlich liegt die Bildung einer galvanischen Kette, zwei ungleichartige Metalle in einer Salzlösung, vor. Das Pt z. B. bildet die Kathode, an der Reduktionsprozesse stattfinden, während Zn die Anode darstellt. Oxyluziferin wird an der Kathode reduziert und in einer unmittelbar darüber gelegenen Schicht wieder oxydiert. Daß solch eine Reduktion an der Kathode stattfindet, kann man zeigen, wenn man einen Strom durch die Lösung von Oxyluziferin, Luziferase und Salz sendet und Pt-Elektroden benutzt. Die Kathode leuchtet dann, die Anode nicht.

Die Deutung dieses Experimentes ist wiederum die gleiche: Naszierender Wasserstoff ist durch die Zerlegung des Wassers durch Na an der Kathode freigeworden:

$$\mathrm{Na + HOH = NaOH + H}.$$

Der naszierende Wasserstoff H reduziert das Oxyluziferin zu Luziferin, welches dann bei Berührung mit Luziferase unter Aufleuchten oxydiert. Wir haben dann eine Schicht Luziferin in unmittelbarem Kontakt mit der Elektrode und gerade darüber die von der Lichterscheinung begleitete Oxydation des Luziferins zu Oxyluziferin.

Obwohl wir keine Strukturformel für Luziferin angeben können, will ich doch auseinandersetzen, welches nach meiner Meinung der wesentliche Umsatz ist, der während der Reduktion und Oxydation stattfindet, nämlich — eine Hydrierung und Dehydrierung — der folgende:

Luziferin + Sauerstoff = Oxyluziferin + Wasser

oder $\mathrm{LH_2 + O = L + H_2O}$.

Wird Oxyluziferin unter dem Einfluß reduzierender Agentien reduziert, so hätten wir dagegen:

$$\mathrm{L + H_2 = LH_2}.$$

Das Oxyluziferin ist so regeneriert und es ist

möglich, die Stoffe so anzuordnen, daß man eine kontinuierliche Reduktion und Oxydation und folglich eine dauernde Lichterscheinung bekommt.

An der Hand solcher Ergebnisse ist es, glaube ich, möglich, manche unserer Vorstellungen bezüglich der leuchtenden Tiere, insbesondere bei solchen mit intrazellularem Licht, zu revidieren. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Leuchtkäfer ständig Luziferin produzieren und dieses während des Aufleuchtens zu irgendwelchen Abbauprodukten, die ständig fortgeschafft werden, oxydieren. Es dürfte eher so liegen, daß das Tier einen Vorrat von Luziferin zur Verfügung hat, den es während der Lichtblitze oxydiert und zwischen denselben reduziert. Manche Formen, wie die Leuchtbakterien, erzeugen ein Tag und Nacht gleichmäßig anhaltendes Licht. Die herkömmliche Auffassung ist die, daß das Bakterium ständig sein Luziferin verbrennt und als Ersatz neues Luziferin aus einfacheren Stoffen bildet. Andererseits ist es aber sehr wohl auch möglich, daß die Bakterien in einem Teil der Zelle Luziferin verbrennen und in einem anderen das Oxyluziferin reduzieren und so unter gleichzeitiger Oxydation und Reduktion leuchten.

So kommen wir zu dem Schluß, daß die Natur ein in doppelter Hinsicht einzigartiges Licht entwickelt hat, wirksam in seiner physikalischen Zusammensetzung, indem es nur aus solchen Wellenlängen besteht, die das Auge erregen, und sparsam in chemischer Hinsicht, indem es das gleiche Brennmaterial immer wieder verwendet. Vielleicht vermögen wir diesen Vorgang eines Tages in der Praxis nachzuahmen, der durch den ersten Beleuchtungstechniker, das Glühwürmchen, ausgebildet worden ist.

Über den Strahlenschutz in Röntgenbetrieben.

Von R. Glocker, Stuttgart.

Die immer mehr zunehmende Benützung der Röntgenstrahlen für die Zwecke der Materialprüfung hat das Anwendungsgebiet der Röntgenstrahlen wesentlich erweitert; außer dem medizinischen „Röntgenbetrieb“ ist eine neue Art, der „physikalisch-technische Röntgenbetrieb“ entstanden, welcher für die Untersuchung dicker Metallstücke der durchdringungsfähigsten Strahlen sich zu bedienen hat. So ist es vor allem die Röntgenmaterialuntersuchung, die dazu zwingt, der Frage des Strahlenschutzes besondere Beachtung zu schenken. Da andererseits die fortschreitende Zunahme der Krankenbehandlung mit Röntgenstrahlen ebenfalls immer härtere Strahlungen zur Anwendung bringt, so darf wohl eine kurze Darstellung der Grundzüge eines modernen Strahlenschutzes in weiteren Kreisen einiges Interesse beanspruchen.

Unter den Instituten und Fabriklaboratorien, in welchen mit Röntgenstrahlen gearbeitet wird, lassen sich nach dem Grade der Gefahr einer Strahlenschädigung der Mitarbeiter zwei Klassen unterscheiden:

I. Anwendung von Spannungen, die kleiner sind als 100 000 Volt,

II. Anwendung von Spannungen zwischen 100 000 und 300 000 Volt.

Zur ersten Klasse von Betrieben gehören die ärztlichen Röntgeninstitute, welche sich nur mit Röntgendiagnostik (photographischen Aufnahmen und Durchleuchtungen) befassen, sowie die physikalischen und technischen Laboratorien, welche Strukturuntersuchungen von Kristallen und Metallen und chemische Analysen auf röntgenspektroskopischem Weg ausführen.

Die zweite Klasse umfaßt die ärztlichen Institute, die Röntgentherapie, insbesondere Tiefentherapie betreiben, und die Materialprüfungs-Laboratorien, die zur Feststellung von Fehlstellen und Einschlüssen die Absorption dicker Metallstücke untersuchen.

Im ersten Fall ist der Röntgenschutz sehr einfach; es genügt, eine direkte Bestrahlung der Mitarbeiter durch die von dem Brennfleck der Röhre ausgehenden Strahlen zu verhindern. Zwischen der Röntgenröhre und dem Aufenthaltsort des Personales (Schalttisch des Röntgenapparates) wird eine einige Quadratmeter große, mindestens 2 Meter hohe, meist bewegliche Wand aus einem für die Röntgenstrahlen schlecht durchlässigen Material angebracht. Ein Bleibelag von 2 bis 3 mm Dicke wird in den meisten Fällen völlig ausreichen.

Die Aufgabe eines Schutzes derjenigen Mitarbeiter, welche genötigt sind, sich im Strahlenkegel der Röntgenröhre aufzuhalten, wie zum Beispiel der Arzt bei einer diagnostischen Durchleuchtung, läßt sich in folgender Weise lösen:

Der Öffnungswinkel des aus der Röhre austretenden Strahlenkegels wird dadurch eingeengt, daß die Röhre in einem mit Bleigummi ausgeschlagenen Holzkasten angebracht ist, dessen vordere Öffnung eine veränderliche Blende besitzt. Eine alte Erfahrungsregel lautet: Man stelle die Blende so ein, daß der Strahlenkegel immer kleiner ist als die Oberfläche des Durchleuchtungsschirmes. Da die üblichen Durchleuchtungsschirme auf der dem Arzt zugewandten Seite mit einer 4 mm dicken Bleiglasplatte bedeckt sind, welche die Röntgenstrahlen stark absorbiert, ohne das Fluoreszenzlicht des Schirmes merklich zu schwächen, so wird auf diese Weise eine direkte Bestrahlung der untersuchenden Person sicher vermieden.

Es wird sich empfehlen, bei der technischen Verwendung der Röntgenstrukturuntersuchungen

die gleichen Vorsichtsmaßregeln anzuwenden und vor allem die Röhren in Schutzkästen anzubringen.

In der II. Klasse von Röntgenbetrieben muß zu dem „direkten“ der „indirekte“ Strahlenschutz hinzutreten. Jeder von Röntgenstrahlen getroffene Körper sendet nämlich selbst wieder neue Röntgenstrahlen aus, die allgemein als „Sekundärstrahlen“ bezeichnet werden. Von den verschiedenen Arten von Sekundärstrahlen kommen hier in Betracht: die Eigenstrahlung und die Streustrahlung. Jedes Element sendet eine homogene[1]) Sekundärstrahlung aus, deren Wellenlänge für das betreffende Atom charakteristisch ist, und deren Intensität dann am größten ist, wenn die erregenden Röntgenstrahlen solche Wellenlängen enthalten, die etwa 15 % kürzer sind als die charakteristischen Eigenstrahlungswellenlängen des Atoms. Außer dieser Erregung der Eigenstrahlung, die nur unter bestimmten günstigen Bedingungen in bezug auf die Wellenlängen der primären Strahlung erfolgt, findet immer beim Durchgang einer Röntgenstrahlung durch ponderable Materie eine Zerstreuung der Strahlen statt, ein Vorgang ähnlich der Zerstreuung des Lichtes in trüben Medien (z. B. in einer Milchglasscheibe). Die zerstreute Strahlung ist qualitativ[2]) gleich mit der primären Strahlung. Die von einem Körper ausgesandte Streustrahlung ist dann besonders intensiv, wenn der Körper aus leichten Atomen besteht und wenn die primäre Röntgenstrahlung großes Durchdringungsvermögen besitzt. In diesem Falle erleiden nämlich die in tiefer gelegenen Schichten erzeugten Streustrahlen auf dem Weg zur Oberfläche des Körpers nur geringe Absorptionsverluste. Beim Arbeiten mit sehr durchdringungsfähigen Röntgenstrahlen wird sich also der Einfluß der Streustrahlen, die von den Wänden, von dem Boden des Zimmers und von anderen darin befindlichen Gegenständen ausgehen, am ehesten störend bemerkbar machen.

Eine anschauliche Vorstellung von der Stärke der Sekundärstrahlung liefert der Versuch, Bohrungen in einem 3 cm dicken Messingstück bei 200 000 Volt Spannung photographisch aufzunehmen. Bei der Entwicklung erweist sich die photographische Platte überall gleichmäßig geschwärzt. Die vom Boden des Zimmers ausgehende Streustrahlung, die von rückwärts auf die photographische Platte auftrifft, ist wesentlich intensiver als die direkte Strahlung, die beim Durchgang durch das Messingstück eine sehr große Schwächung erfährt.

Kleine, an und für sich ungefährliche Strahlungsintensitäten können bei wiederholter Einwirkung während längerer Zeiträume dadurch gefährlich werden, daß sich ihre biologische Wirkung bis zu einem gewissen Grade aufsummiert. Schutzmittel gegen direkte Strahlung werden zwar das Auftreten akuter Röntgenschädigungen verhindern, eine Sicherheit gegen allmählich eintretende Schädigungen infolge von Sekundärstrahlungswirkung vermögen sie jedoch nicht zu geben.

Der gefährliche Einfluß der Sekundärstrahlung wird in den Kreisen der ärztlichen Röntgenologen immer noch nicht voll erkannt und gewürdigt. Eine kürzlich erschienene Mitteilung eines Röntgenarztes ist in dieser Hinsicht von Interesse: „Auftreten von Stoffwechselstörungen trotz Gebrauches eines Bleischutzschirmes bei der Krankenbestrahlung, Behebung der Beschwerden nach Benutzung einer allseitig anliegenden Bleigummischürze. Erklärung, daß die durch Blei hindurchgegangenen Strahlen immer noch große biologische Wirksamkeit besitzen und durch weitere Absorption in Bleigummi unschädlich gemacht werden können.“

Die richtige Erklärung lautet: Hinzufügung eines Schutzes gegen indirekte Bestrahlung (Bleischutzschürze) zu dem vorhandenen Schutz gegen direkte Bestrahlung (Bleiwand).

Es ist aber nicht bloß die Sekundärstrahlung, welche das Arbeiten mit Röntgenstrahlen von großer Härte so gefährlich macht. Infolge der großen Durchdringungskraft der Strahlungen muß die Dicke der schützenden Stoffe größer gewählt werden als beim diagnostischen Betrieb. Dazu kommt, daß die Strahlungsintensität bei gleicher Stromstärke mit dem Quadrate der Spannung anwächst; die Strahlungsenergie in einem therapeutischen Institut ist im Durchschnitt 10 bis 20mal größer als beim diagnostischen Arbeiten. Außerdem ist die Zeit, während der die Röhren eingeschaltet sind, im letzteren Falle viel kürzer.

Die besonders große Röntgengefahr beim Arbeiten mit hohen Spannungen beruht somit auf drei Faktoren: große Strahlungsintensität, großes Durchdringungsvermögen, starke Sekundärstrahlung.

Als Schutzstoffe eignen sich besonders gut die hochatomigen Elemente, da die Absorption mit der Atomzahl stark zunimmt. Zwei Stoffe von verschiedener Dicke haben dann gleiche Schutzwirkung, wenn das Produkt aus dem Absorptionskoeffizienten und der Dicke gleich ist; man kann also die Schutzwirkung dadurch messen, daß man die Verhältniszahl

$$\frac{\text{Dicke des Stoffes}}{\text{Dicke der äquivalenten Bleischicht}}$$

angibt. Blei ist das verbreitetste Material als Röntgenschutzstoff; außer als Bleiblech wird es auch als Bleiglas und Bleigummi angewandt. Vor wenigen Jahren ist zum ersten Mal Barium zu Strahlenschutzwänden verwandt worden, und zwar in Form von Barytsteinplatten (Kämpe-Lorey-Platten). Eine Mischung von Schwerspatpulver und Zement wird in eine $50 \times 25 \times 6$ cm Form gepreßt. Die einzelnen Platten werden sodann mit Zementmörtel unter Benutzung der angebrachten Nuten und Falzen strahlendicht mit-

[1]) „Homogen“ im technischen Sinne.

[2]) Die von *Compton* kürzlich gefundenen Unterschiede kommen hier nicht in Betracht.

einander verbunden. Gegenüber dem Bleibelag besitzt der Barytstein den Vorteil der Billigkeit und der Vermeidung einer metallischen Leitfähigkeit: Ausgedehnte Bleiwände in einem Zimmer, in dem mit hohen Spannungen gearbeitet wird, laden sich auf und wirken mitunter ungünstig auf den Gang der Röhren. So wird für ortsfeste Röhrenkästen, wie sie z. B. in den Pumpereien von Röntgenröhrenfabriken und in manchen technischen Laboratorien benützt werden, sehr gut ein Barytsteingehäuse Verwendung finden. Für bewegliche Röhrenkästen wird das teuerere Bleiglas des geringeren Gewichtes wegen zunächst beibehalten werden müssen. (Metallisches Blei ist wegen der Durchschlagsgefahr der Röhren ausgeschlossen.)

Wie verhalten sich nun die Dicken, die von diesen Schutzstoffen nötig sind, um gleiche Schutzwirkung zu erzielen? Hierüber gibt die folgende Tabelle Auskunft, welche die Ergebnisse einiger im Institut[3]) des Verfassers angestellter Messungen enthält:

Blei	Bleigummi	Bleiglas	Barytstein
1	3,0	8,5 bis 9,7	13,5

Die Absorption des Bleiglases ist von Stück zu Stück etwas verschieden. Einer Bleiglasscheibe in der üblichen Dicke von 20 mm entspricht etwa 2 mm Walzblei.

Die Schwächung der Strahlungsintensität in einem Schutzstoff ist verschieden, je nachdem ein enges oder ein weites Strahlenbündel zur Messung benutzt wird. Es war bisher üblich, die Schutzwirkung mit engen, nahezu parallelen Strahlenbündeln zu messen und dann diesen Wert auf die praktischen Verhältnisse, bei denen eine Bestrahlung einer ausgedehnten Fläche des Schutzstoffes stattfindet, zu übertragen. Dieses Verfahren führt zu Fehlresultaten, da im Schutzstoff, namentlich bei Verwendung dicker Schichten, eine starke Sekundärstrahlung entsteht, die sich hinter der Schicht zu der direkt hindurchgegangenen Strahlung addiert. Daß dieser Einfluß der „Feldgröße“ (Größe der bestrahlten Oberfläche) praktisch nicht vernachlässigt werden darf, zeigen die Messungen von *Berthold*[4]): Die Strahlungsintensität hinter einem 6 cm dicken Barytstein ist doppelt so groß, wenn das auftreffende Strahlenbündel einen Querschnitt von 1000 qcm statt 5 qcm hat. Die oben angegebenen Verhältniszahlen der Schutzwirkung verschiedener Stoffe ändern sich in dem Sinne, daß die Schutzwirkung relativ am meisten bei dicken Schichten und bei weniger hochatomigen Elementen abnimmt. So beträgt für ein großes Feld das Verhältnis der äquivalenten Schichtdicken von Walzblei und Barytstein 1 : 15. Die Änderung der Zahlen für Bleigummi : Blei und Bleiglas : Blei ist gering und ohne praktische Bedeutung.

Um eine Anschauung von der absoluten Schutzwirkung dieser Stoffe zu geben, seien die Werte für die Schwächung der Intensität der härtesten, zurzeit technisch verwendeten Strahlung für Blei angeführt:

2 mm Blei	0,38 %	nahezu paralleles,
3 „ „	0,08 %	enges Strahlen-
4 „ „	0,03 %	bündel

Hinter 5 mm Blei ist somit nur noch $^1/_{10}$ Promille der Anfangsintensität vorhanden.

Nun nimmt die Gefahr einer Verbrennung der menschlichen Haut stark ab, sobald die leicht absorbierbaren Strahlen weggeschafft sind. Bestrahlt man z. B. mit einer Röhre von 200 000 Volt bei 2 mA Stromstärke aus einem Abstand von 25 cm, so genügt eine Dauer von einer Minute, um nach einigen Tagen eine vorher latente Hautverbrennung hervortreten zu lassen. Hat dieselbe Strahlung vorher eine ½ mm dicke Schicht aus Zink (sog. Filter) zu passieren, so kann bis zum Eintreten einer Verbrennung etwa eine halbe Stunde lang bestrahlt werden. Die biologische Wirkung einer durch mehrere Millimeter Blei hindurchgegangenen Strahlung ist somit, bezogen auf gleiche auffallende Intensität, außerordentlich gering.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß in Instituten, in denen im allgemeinen höchstens mit 220 000 Volt Spannung gearbeitet wird, ein Bleibelag von 4 bis 5 mm durchaus genügend ist. Viel wichtiger als eine Steigerung der Bleidicke über das angegebene Maß hinaus ist eine genaue Kontrolle, ob nicht schwache Punkte in der Anordnung auftreten. In einem klinischen Therapiebetrieb war die aus 6 cm bestehende Trennwand zwischen Schaltraum und Bestrahlungsraum zur Erhöhung der Sicherheit mit 2 mm Walzblei belegt worden, während die zur Beobachtung der Röntgenröhren dienenden Öffnungen in der Wand mit 18 mm Bleiglas verschlossen waren. Während nun die Wand in bezug auf die Schutzwirkung einer Bleischicht von 4 + 2 mm = 6 mm Dicke entspricht, beträgt die der Bleiglasfenster höchstens 2 mm Blei. Dabei ist noch zu beachten, daß das Personal sich dauernd unmittelbar hinter diesen schwachen Stellen der Schutzanordnung aufhält.

Erachtet man eine Wand aus Blei von 4 bis 5 mm Dicke für ausreichend, so hat man bei Verwendung von Barytsteinen eine Lage von 6 cm Dicke und als Verschluß von Fenstern gegen den Bestrahlungsraum Bleiglas in einer Dicke von 40 mm zu benützen. Es ist auffallend, daß auch in gut ausgerüsteten klinischen Röntgeninstituten der Bleiglasschutz durchweg viel zu klein gewählt ist.

Eine von dem praktisch tätigen Röntgenologen häufig erhobene Frage ist die nach der Gefährdung von Personen, die sich in den an das Röntgenzimmer angrenzenden Räumen dauernd aufhalten? In Kliniken handelt es sich insbesondere um die Frage, ob die Benützung der über den Röntgenzimmern gelegenen Räume als Krankenzimmer gestattet ist. Die Beantwortung dieser

[3]) *Berthold*, Strahlentherapie Bd. *16*, Nr. 1, 1923.
[4]) l. c.

Fragen erfordert die Kenntnis der Röntgenstrahlenabsorption in Baustoffen (Backstein, Beton usw.). In der Literatur finden sich hierüber keinerlei Angaben. Eigene Messungen des Verf.[4]) unter Verwendung der härtesten, zurzeit im praktischen Röntgenbetrieb üblichen Strahlungen (225 000 Volt Röhrenspannung) ergaben, daß bei einem eng ausgeblendeten Strahlenbündel eine Backsteinmauer von 32,5 cm einer 80mal dünneren Bleiwand entspricht, während in dem praktisch wichtigen Fall eines weiten Strahlenbündels das Verhältnis 1 : 110 lautet. Die Schutzwirkung von 4,5 mm Blei wird also erreicht, sobald die Backsteinmauer mindestens 50 cm dick ist. Die Untersuchung von Betonwänden lieferte folgendes Resultat: 25 cm Beton sind äquivalent 5,3 mm Blei bei engen bzw. 4,2 mm Blei bei weiten Strahlenbündeln.

Da eine Bleiwand von 4 bis 5 mm für das Röntgenpersonal als zurzeit ausreichender Schutz angesehen wird, so können neben oder über oder

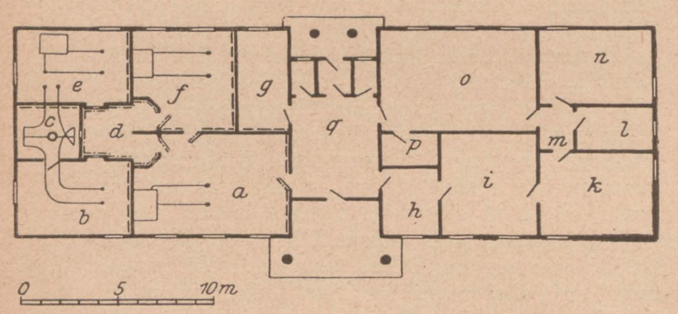


Fig. 1. **Grundriß des Röntgenlaboratoriums an der Technischen Hochschule Stuttgart.**

unter dem Röntgenzimmer gelegene Räume sicher unbedenklich benützt werden, wenn die Wände bzw. die Zwischendecke aus mindestens 50 cm Backstein oder 25 cm Beton bestehen.

In den Kreisen der Röntgenologen findet sich häufig die Ansicht, daß alle bleihaltigen Stoffe, auch bei geringer Dicke der Schicht, an Schutzwirkung Baustoffe, wie Beton, weit übertreffen. So war zum Beispiel in einer Klinik beabsichtigt, eine 50 cm dicke Betonwand mit 3 mm Blei zu belegen, um für das Nebenzimmer Strahlensicherheit zu erreichen. Diese Verstärkung war ganz unnötig, da ja die Betonwand allein schon eine Schutzwirkung von mindestens 8 mm Blei besitzt. Dagegen fand sich in dieser Wand eine Verbindungstür mit einem Bleiglasfenster von 4 mm Dicke (äquivalent etwa 0,4 mm Blei). Dies war die schwache Stelle der ganzen Schutzanlage, und hier hatte eine Verstärkung einzusetzen.

Außer der Forderung, daß die Schutzwirkung an allen Stellen eine gleich große ist, muß, wie bereits oben erwähnt, die Anordnung so getroffen werden, daß auch eine Bestrahlung der im Röntgenzimmer tätigen Personen durch Sekundärstrahlung unbedingt vermieden wird. Eine einfache Schutzwand ist in Betrieben, in denen hohe Spannungen zur Strahlenerzeugung verwandt werden, ein ganz und gar unzureichender Schutz.

Die beste Lösung bietet das allseitig geschlossene Schutzhaus aus Blei- oder Barytwänden. In manchen Fällen kann eine Zimmerecke als eine Hälfte des Schutzhauses benützt werden. Statt eine Zwischendecke aus Blei als Abschluß des Schutzhauses nach oben einzuziehen, ist es besser, die seitlichen Bleiwände bis zur Zimmerdecke hochzuführen, um einen größeren Luftraum für das Röntgenpersonal zu schaffen. Rückseitige Strahlung der Zimmerwände ist dadurch zu vermeiden, daß der Bleibelag einige Zentimeter tief in die Zimmerwände eingelassen wird. Die Stellen, an denen der Bleibelag mit Schrauben usw. befestigt ist, sind sorgfältig mit besonderen Bleikappen zu bedecken, da Eisen für sehr harte Röntgenstrahlen viel durchlässiger als Blei ist.

Als Beispiel einer modernen Röntgenschutzanlage ist in Fig. 1 der Grundriß des Röntgenlaboratoriums an der Technischen Hochschule in Stuttgart dargestellt. Beim Bau des Instituts vor zwei Jahren war die Aufgabe zu lösen, mit geringstem Kostenaufwand die Bedienungs- und Schaltstellen von 4 modernen Röntgenapparaten strahlensicher anzuordnen und eine gegenseitige Störung der Messungen bei gleichzeitigem Betriebe von 4 Röhren zu verhindern.

Die Räume, in denen mit Röntgenstrahlen gearbeitet wird (*a*, *b*, *e*, *f*), liegen ringsherum um einen zentral gelegenen Raum *d*, welcher sämtliche Schaltapparate für alle Röntgenapparate enthält. Diese Zentralschaltstelle ist an allen Seiten mit 5 mm Blei bedeckt, und zwar vom Boden bis hinauf zur Zimmerdecke. In den Türen, welche teils als Klapp-, teils als Schiebetüren ausgebildet sind, befinden sich Beobachtungsfenster, die aus zwei Bleiglasscheiben von je 20 mm Dicke bestehen. Es ist bemerkenswert, daß die Bleiglasscheiben optisch so gut sind, daß die Teilstriche der Milliamperemeter noch gut abgelesen werden können. Die Wände zwischen den einzelnen Röntgenräumen sind mit 6 cm dicken Barytsteinen belegt. Außerdem ist als Abschluß gegen die Mittelhalle des Instituts und die auf der anderen Seite gelegenen Räume (Werkstatt, Vorstandszimmer, Assistentenzimmer usw.) eine von den Fundamenten bis zum Dach reichende Barytmauer von ebenfalls 6 cm Dicke aufgeführt, die als Eingang eine einzige mit 5 mm Blei beschlagene Tür bei *a* enthält.

Die Anordnung einer Zentralschaltstelle, welche nicht bloß eine Vereinfachung des Strahlenschutzes, sondern auch eine Ersparnis an Personal für die Betriebsüberwachung bedeutet, hat sich sehr gut bewährt. Da das Institut ein einstöckiger Bau ist, so erübrigten sich besondere

[5]) *Glocker* u. *Berthold*, Strahlentherapie Bd. *16*, Nr. 3, 1924.

Schutzmaßregeln für etwa im Oberstock liegende Arbeitsräume.

Eine eigenartige Lösung des Problems des Strahlenschutzes im therapeutischen Betrieb bietet eine Anordnung von Siemens & Halske. In das Bestrahlungszimmer herein ragt ein langer, weiter, mit dickem Blei beschlagener Kasten in der Art eines Rüssels, in dem sich die Röhre mitsamt den Hochspannungsleitungen befindet. Außer dem Strahlenschutz wird auf diese Weise erreicht, daß eine ungewollte Berührung der Hochspannung unmöglich ist. Der Nachteil, daß die Röhre raumfest angebracht ist, wird von einer amerikanischen Konstruktion vermieden, wobei jedoch auf den Schutz gegen Hochspannung verzichtet wird. Die Röhre liegt in einem tonnenförmigen, mit Blei beschlagenen und zur Verhütung der Durchschlagsgefahr der Röhre mit Transformatorenöl gefüllten Kasten, der gedreht und geneigt werden kann. Die Ansicht der Konstrukteure, daß ein weiterer Schutz des Personals gegen die außerhalb des Bestrahlungskastens ausgelösten Sekundärstrahlungen entbehrlich sei, bedarf allerdings noch einer experimentellen Begründung.

Bei der Neueinrichtung von Röntgenanlagen können durch zweckmäßige Wahl der Räume Ersparnisse in bezug auf den Röntgenschutz gemacht werden. Wenn es die Stockhöhe gestattet, sind Röntgenzimmer im Untergeschoß unterzubringen, weil hier die dicken Fundamentmauern eine besondere Abschirmung überflüssig machen; ebenso ist ein Röntgenschutz nach unten nicht erforderlich. Sehr ungünstig ist die Wahl eines mittleren, etwa des zweiten Stockwerkes, weil hier ein Schutz nach unten und oben nötig wird. Ferner ist es zu empfehlen, solche Räume auszuwählen, welche am Ende eines Ganges liegen. Hier wird der Gang zweckmäßig als strahlensichere Zentralschaltstelle ausgebildet und damit gleichzeitig der Vorteil einer einfachen Betriebskontrolle erreicht. Welche besonderen Schutzmaßnahmen in den einzelnen Fällen noch anzuwenden sein werden, läßt sich an Hand der oben gegebenen Zahlenwerte für die Schutzwirkung leicht ermitteln.

Besprechungen.

Schmauß, August, Das Problem der Wettervorhersage. Probleme der kosmischen Physik, herausgegeben von *Chr. Jensen* und *A. Schwaßmann*. Heft I. Hamburg, Henri Grand 1923, 80 S.

Die Wettervorhersage ist unbestritten ein Gebiet, an dem ein sehr weiter Kreis interessiert ist. Wirkliches Vertrautsein mit ihren Problemen findet man aber nur sehr selten, obgleich sich die meisten, was das Wetter anbetrifft, für Fachleute halten und z. B. häufig zu schneller Kritik der amtlichen Wettervorhersagen bereit sind. Berechtigte Kritik ist auch dem verantwortlichen Meteorologen willkommen, und denen, die sich hierfür das notwendige Rüstzeug verschaffen wollen, sei das vorliegende Buch von *A. Schmauß*, dem Direktor der bayerischen Landeswetterwarte in München, empfohlen. In ihm werden aus einer langen, auf praktischen Wetterdienst gegründeten Erfahrung heraus die mit der Vorhersage zusammenhängenden Fragen von den verschiedensten Seiten beleuchtet.

Die Darstellung beginnt mit den Methoden, die sich auf reine Wetterbeobachtung stützen. Es wird erörtert, wie weit die Tiere durch ihr Verhalten als Wetterpropheten gelten können. Auch die Wetterempfindlichkeit der Menschen, die sich in den schwersten Fällen bis zur krankhaften Entartung steigert, die Verwertung von akustischen Erscheinungen (Summen der Telephondrähte, Wetterbrunnen), der Geruchswahrnehmungen und vor allem der Beobachtungen über das Aussehen des Himmels wird kritisch gewürdigt. In letzterer Hinsicht wird betont, daß die Meteorologie dem bekannten Wetterinstinkt der Hirten, Landleute, Jäger u. a. volle Würdigung zuteil werden läßt, wenn sie auch feststellen muß, daß diese Art der Vorhersage nicht befriedigen kann. Die erwähnten Wetterkundigen verstehen nämlich meist nicht ihre Kunst zu lehren, können auch keine Erklärung ihrer Regeln geben, und ihr Wissen ist überhaupt lokal begrenzt. Damit wird zur Wettererklärung übergeleitet, deren Entwicklung von den primitiven Völkern mit ihrem Aberglauben an das Walten von Gottheiten über die Astrologie, die zum ersten Male versuchte Gesetzmäßigkeiten einzuführen, bis zu den modernsten Anschauungen besprochen wird. Kosmische Einflüsse, vor allem der Einfluß der Sonne mit ihrem Wechsel der uns zugestrahlten Energie, sind sicher vorhanden, aber bei der Vorhersage zurzeit noch nicht verwertbar. Dem Mondeinfluß, der in der Volksmeinung aller Aufklärung zum Trotz unentwegt eine große Rolle spielt, werden längere Ausführungen gewidmet. Auch hier hat sich ein verwertbarer Zusammenhang der Mondstellungen mit den Witterungsvorgängen nicht finden lassen. Daneben wird das Sinnlose des „Hundertjährigen Kalenders“ als Prognosenbuch erneut gekennzeichnet. Die bekannten Bauern- und Volkswetterregeln, die fast durchweg aufmerksame Beobachtung verraten, sind anzuerkennen, sobald sie nur kurzfristige Prognosen sein wollen, dagegen meist abzulehnen, wenn sie Beziehungen zwischen dem Witterungscharakter verschiedener Jahreszeiten herleiten.

In großen Zügen wird die heutige Organisation des amtlichen Wetterdienstes besprochen, und da alle Wettervorhersage als Grundlage die Wettererklärung hat, auch das Wesen der Hoch- und Tiefdruckgebiete dargestellt. Das Kapitel „Methodik der Wettervorhersage“ behandelt zunächst die Bedeutung der permanenten Aktionszentren der Atmosphäre, die als Stellen kleinsten Widerstandes für das Vordringen polarer bzw. äquatorialer Strömungen aufzufassen sind, und auch der temporären, thermisch bedingten Zentren. Dann wird auf die sich abspielenden Kompensationsvorgänge hingewiesen, die eine Reihe von in Wechselbeziehung stehenden Erdstellen voraussetzen. „Es wird immer klarer, daß wir, wenn wir das Wetter wirklich erfassen wollen, uns nicht auf die Beobachtungen unserer europäischen Wetterwarten beschränken dürfen, sondern Makrometeorologie treiben müssen. Die Atmosphäre ist ein Organismus; eine Störung an irgendeiner Stelle kann nicht ohne Auswirkung auf

die übrigen Teile bleiben. Die sich daran anknüpfenden Ausgleichsvorgänge brauchen Zeit, damit sehen wir die Möglichkeit gegeben, eine Makroprognose abzugeben, die nicht mehr das Wetter eines einzelnen Tages, sondern den Witterungscharakter eines längeren Zeitraumes umfassen wird."

Hierin dürfte m. E. auch für die nächste Zeit der weitere größere Ausbau der Vorhersage liegen. Er ist um so notwendiger, zumal nach *Schmauß*, wie später noch angeführt wird, bei der Tagesprognose der Höchstsatz der Trefferprozente erreicht zu sein scheint. Die große Ausdehnung des Gebietes, das zur Ausführung der Makrometeorologie zu überwachen ist, setzt weitgehendste Arbeitsteilung voraus. Der Verf. wiederholt ein schon früher von ihm gegebenes Organisationsschema. Dieses sieht an der Spitze ein Weltamt für die Nordhemisphäre vor, das den allgemeinen Zustand der Atmosphäre zu überwachen hat. Daneben bearbeitet ein Reichsamt ebenfalls nur die großen Züge der Wetterveränderung, soweit sie für den Ablauf der Witterung im Reichsbezirk in Frage kommen, während Landeswetterwarten und Wetterdienststellen den eigentlichen Prognosendienst zu versehen haben. Dieses Programm setzt zwar ein internationales Zusammenarbeiten voraus, das zurzeit allerdings noch nicht möglich ist. Trotzdem sollte meiner Meinung nach solche Makrometeorologie schon jetzt mehr als bisher in Angriff genommen werden. Diese Arbeiten haben vorerst nicht der Tagesprognose zu dienen, sondern sollen versuchen, aus dem schon veröffentlichten Beobachtungsmaterial die später zu verwertenden Kompensationen in immer weiterem und sichererem Umfange aufzudecken.

Die Verwertung der Statistik für die Wettervorhersage lehnt der Verf. größtenteils ab. Eine Kartothek nach dem Kaltenbrunnerschen Vorschlag mag als Hilfsmittel wohl willkommen sein, dürfte aber die auf sie verwandte Mühe kaum lohnen. Das, was unter „Prüfung der Treffsicherheit" der Prognosen gesagt wird, ist an die Adresse jenes Teils des Publikums gerichtet, der sich die Bewertung einer Vorhersage meist gar zu leicht macht und in subjektivr Weise zur Prognose Stellung nimmt. Die Fehlprognosen gliedert *Schmauß* in solche, die nach ihrem Inhalt und solche, die im Tempo der angenommenen Wetterentwicklung irren. Zur Erklärung der ersteren sind möglicherweise noch Witterungsfaktoren heranzuziehen, die uns noch unbekannt sind und vielleicht bekannten Vorgängen der Kolloidchemie ähneln. Die Frage, ob wir hoffen dürfen, es in der Wettervorhersage einmal zu völliger Sicherheit zu bringen, wird verneint unter Hinweis auf neuere Anschauungen der Physik, die auch in manchen Gesetzen nur Gesetze der großen Zahlen oder „des gehäuften Zufalls" sehen, die zwar für den Durchschnitt zutreffend, im Einzelfall vollständig versagen können. Die auch in der Wetterprognose vorhandene objektive Unsicherheit läßt uns nur zu einer Treffsicherheit von 80—90% kommen, wenn man von dem Grundsatz ausgeht: Gleichen Witterungsfaktoren folgt auch gleiches Wetter. Dieser Grundsatz scheint eben nur innerhalb der angegebenen Grenzen tatsächlich zuzutreffen.

Die Schlußkapitel behandeln die praktische Bedeutung der Wettervorhersage, die Notwendigkeit eines wetterkundlichen Unterrichts als Vorbedingung für das richtige Verständnis der Prognosen und einige Überlegungen über Ursache und Wirkung in der Wettererklärung.

So stellt sich in großen Zügen der Aufbau des Büchleins dar. Was seinen Wert im besonderen ausmacht, ist neben dem Inhalt die lebendige Darstellung des Stoffes, die den Leser nicht ermüden läßt, sondern zu weiterem Nachdenken anregt, trotzdem an manchen Stellen schon sattsam genug erörterte Dinge angeschnitten werden mußten. Gerade dies Moment sollte dem Werk weiteste Verbreitung sichern, wenn auch leider gerade die Kreise, die sicher gern nach ihm greifen würden, sich heute nur sehr schwer die Befriedigung ihrer geistigen Bedürfnisse leisten können.

K. Knoch, Potsdam.

Hann-Süring, Lehrbuch der Meteorologie. Lieferung 1. 4. umgearbeitete Auflage. Leipzig, Chr. H. Tauchnitz, 1923. 144 S., 17 Abbildungen und 2 Tafeln. 17 × 26 cm.

Die dritte, im Jahre 1914 vollendete Auflage des weitbekannten Lehrbuches ist überaus schnell verbraucht worden. Neben der Steigerung des Interesses für Meteorologie kommt darin vor allem das Bedürfnis des Krieges zum Ausdruck, der auch die Meteorologie in seinen Dienst gezwungen hat. In großzügiger Weise wurden von der Abteilung W beim kommandierenden General der Luftstreitkräfte, dem auch der Heereswetterdienst unterstand, den Heereswetterwarten auch die literarischen Hilfsmittel, vor allem „unser *Hann*", zur Verfügung gestellt. Wir sind oft von den anderen im Kriege verwendeten Disziplinen beneidet worden, daß wir, frei von den heimatlichen Bibliotheken, in der Lage waren, an Hand unseres *Hann* die an uns herantretenden Fragen zu beantworten, dessen Besitz dem Meteorologen zu sagen erlaubt: omnia mea mecum porto.

So war denn das Lehrbuch bald vergriffen, dessen Neuauflage sofort nach Kriegsende dringlich wurde. Sie scheint sich etwas in die Länge zu ziehen, was namentlich auch darum zu bedauern ist, weil der Beschaffungspreis manchem den Zugang zu diesem herrlichen Werke erschweren wird.

J. von Hann ist inzwischen gestorben (1. Oktober 1921); *R. Süring*, der schon die dritte Auflage mitbearbeitet hatte, bürgt uns dafür, daß das Denkmal in unverminderter Frische uns erhalten bleibt.

Seit dem Jahre 1914 hat die Meteorologie manchen Fortschritt erfahren, insbesondere auf dem Gebiete der Theorie der Hoch- und Tiefdruckgebiete, der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre usw. Um den Umfang der Neuauflage nicht erweitern zu müssen (voraussichtlich wieder 10 Teillieferungen), haben sich die Herausgeber entschlossen, die meteorologische Optik fortzulassen, nachdem im Jahre 1922 eine von *F. M. Exner* besorgte Neuauflage des grundlegenden Werkes von *J. M. Pernter* erschienen ist.

Eine Kritik an einem so anerkannten Werke erübrigt sich; nur den einen Wunsch möchte ich aussprechen, daß die weiteren Lieferungen nicht zu lange auf sich warten lassen möchten.

A. Schmauß, München.

Defant, A., und E. Obst, Lufthülle und Klima. Enzyklopädie der Erdkunde. Leipzig und Wien, Franz Deuticke, 1923. VIII, 186 S. und 24 Abbildungen.

Das vorliegende Buch ist zwar zunächst für Geographen geschrieben, wird aber einen weit größeren Leserkreis bekommen. Die Meteorologie besitzt ein ausgezeichnetes *Handbuch* von *J. von Hann*, das eben in vierter Auflage erscheint (bei C. H. Tauchnitz, Leipzig), ist aber arm an kleineren *Lehrbüchern*, die man ohne Bedenken empfehlen könnte. Seit Jahren war ich daher bemüht, die Herausgabe eines „kleinen Hann" anzuregen, der den Bedürfnissen unserer Studierenden gerecht werden würde. Der Verlag hatte aber genug

Schwierigkeiten zu überwinden, die Neuauflage in unserer für den Buchhandel so schweren Zeit herauszubringen, daß keine Mittel für einen „kleinen Hann“ übrig blieben.

Die Lücke wird nun vollkommen ausgefüllt von dem vorliegenden Werke, das jeder Freund der Meteorologie aufs wärmste begrüßen wird. Professor *A. Defant*, selbst ein *Hann*-Schüler, hat, ohne es auszusprechen, unserem vor anderthalb Jahren verstorbenem Altmeister mit seinem Buche den Dank abgetragen und hat die neueren Errungenschaften und Anschauungen der Meteorologie in vorbildlicher Weise dargelegt. Das Buch ist eine ausgezeichnete Ergänzung zu dem im Jahre 1918 vom gleichen Verfasser erschienenen Werke: „Wetter und Wettervorhersage“ (im gleichen Verlage). Er schrieb damals im Vorworte: „Um das Buch nicht zu überlasten, werden die grundlegenden Kenntnisse der allgemeinen Meteorologie als bekannt vorausgesetzt.“ Diese grundlegenden Kenntnisse werden in dem jetzt vorliegenden Werke in derselben anschaulichen Schreibweise vermittelt.

Ein Sechstel des Buches ist der Darstellung der Klimate und ihrer geographischen Verbreitung durch Professor *E. Obst* überlassen. In *synthetischer* Weise sind die Klimatypen und Klimagebiete in gedrängter Form dargestellt. Dieser Teil bildet eine wichtige Ergänzung zu dem anderen Musterwerk *J. von Hanns*, seiner Klimakunde, die schon des längeren einer Neuauflage harrt. Gerade auf dem Gebiete der Klassifikation der Klimate sind seit der letzten Auflage der Klimatologie (1908) wichtige Fortschritte zu verzeichnen, welche hier weiteren Kreisen zugänglich gemacht werden.

A. Schmauß, München.

Langenbeck, R., Physische Erdkunde. I. Die Erde als Ganzes und die Erdoberfläche. (Sammlung Göschen, Nr. 849.) Berlin und Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger, Walter de Gruyter & Co. 1922. 110 S. 26 Fig.

Eine stark zusammengedrängte Darstellung der Geophysik sowie der Morphologie der festen Erdoberfläche, die zur Gewinnung eines Überblickes über diese geographischen Disziplinen recht geeignet ist, wenngleich die ältere Literatur vielfach über Gebühr, mitunter auf Kosten der neueren, Berücksichtigung gefunden hat. Die einzelnen Kapitel behandeln Gestalt und Größe der Erde, Anordnung von Wasser und Land, Einteilung und horizontale wie vertikale Gliederung der Land- und Meeresräume, Gebirge und Täler, Flüsse und Seen, Gletscher, Küsten sowie die Veränderungen, welche das Antlitz der Erde im Verlaufe geologischer Zeiträume erlitten hat. Die geophysikalischen Kapitel umfassen die Schwankungen der Rotationsachse der Erde, Erdinneres, Erdwärme, Dichte und Schwere. Die Eötvössche Drehwage ist noch nicht berücksichtigt.

O. Baschin, Berlin.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Die Bildung von körnigem Perlit im Stahl. Bekanntlich scheidet sich aus den Eisenschmelzen, die geringere Mengen Kohlenstoff (bis etwa 1,8 %) enthalten, zunächst eine feste Lösung von Kohlenstoff in den flächenzentrierten Eisen-γ-Kristallen aus. Bei der Abkühlung scheidet sich aus Legierungen, die weniger als 0,9 % C enthalten, zuerst unterhalb 900° das (beinahe) kohlenstoffreie α-Eisen aus, wobei die Zusammensetzung der übrigbleibenden γ-Kristalle sich der Konzentration 0,9 % C nähert. Der Zerfall der γ-Kristalle von dieser Konzentration findet statt unter gleichzeitiger Ausscheidung von α-Eisen, *Ferrit* und der Verbindung Fe_3C, des *Zementits*, in einer äußerst feinen, eutektoiden Verteilung. Dieses, in Fig. 1 dargestellte, aus einander abwechselnden Lamellen von Ferrit und Zementit, ist der sogenannte *Perlit*. Die tausendfache Erfahrung hat gezeigt, daß die technischen Eigenschaften des Stahles ceteris paribus in allererster Linie durch die Art der Entstehung und Anordnung des Perlits und allgemeiner durch die Art des Verlaufs der Umwandlung

$$\gamma\text{-Eisen} \rightarrow \overbrace{\alpha\text{-Eisen} + \text{C Zementit}}^{\text{Perlit}} \quad \ldots (1$$

bestimmt werden, so daß die Kunst der *thermischen Behandlung* der Stahle zu einem großen Teil als eine Kunst, die *Perlitumwandlung* in geeigneter Weise zu leiten oder zu unterbinden, bezeichnet werden kann. So wissen wir heute, daß viele Stähle hoher Qualität, die eine große Härte und Zähigkeit zugleich besitzen sollen, den Perlit in einer ultramikroskopisch feinen Verteilung als sogenannten *Sorbit* enthalten müssen. Andere, insbesondere Spezialstähle, müssen den Perlit in körniger Gestalt, wie sie etwa in Fig. 2 dargestellt ist, enthalten, weil sie sonst spröde sind, usw. Demgemäß sind seit langer Zeit alle Fragen, die mit der Perlitbildung zusammenhängen, studiert worden. Trotzdem sind viele, auch grundlegende Fragen, noch nicht definitiv gelöst, zum Teil, weil sich auch hier, wie beinahe überall, noch ungelöste prinzipielle physikalisch chemische Fragen in das Problem hineinspielen. In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit hat *J. H. Whiteley* (vorgelegt dem Iron and Steel Institute am 5. Mai 1922; Engineering 1922, 9. Juni, S. 733) eine Reihe von interessanten Beobachtungen und Betrachtungen angestellt, über die im Anschluß an einige allgemeinere Fragen berichtet werden soll.

Eine Frage, die den Metallographen seit längerer Zeit Schwierigkeiten bereitet hat, ist folgende. Nach Gleichung (1) haben wir im Augenblick der Perlitbildung bei der Abkühlung drei verschiedene Kristallarten, also drei Phasen im Sinne der physikalischen Chemie nebeneinander. Nach der Theorie können diese drei Phasen nebeneinander nur bei *einer* bestimmten Temperatur bestehen. Die Perlitumwandlung muß sich also bei einer und derselben Temperatur vollziehen, ob man sie bei der *Abkühlung* von links nach rechts laut Gleichung (1) oder bei der *Erhitzung* umgekehrt von rechts nach links verläuft. Das wird jedoch von der Erfahrung nicht bestätigt. Bei der Abkühlung findet die die Perlitbildung anzeigende *Rekaleszenz* bei einer nicht unbeträchtlich tieferen Temperatur a_r, als bei der Erhitzung die *Wärmeaufnahme* bei der Auflösung des Perlits (Temperatur a_c) statt. Die Temperaturdifferenz zwischen a_c (ca. 720—730°) und a_r (700—680°) beträgt bei gewöhnlichen Stählen etwa 20—50°, je nach den Bedingungen, und kann bei Spezialstählen mehrere hundert Grad erreichen. Da dieser Unterschied zweifellos durch Verzögerungserscheinungen hervorgerufen wird, so muß die wahre Tempeatur a_e des perlitischen Gleichgewichtes zwischen a_c und a_r liegen.

Da die thermische Methode (Feststellung der Wärmetönungen) zur Bestimmung des a_e-Punktes

nicht geeignet ist, so hat man schon seit langer Zeit versucht, die mikroskopische Methode anzuwenden. Man hat eine Reihe von kleinen Proben bei verschiedenen Temperaturen in der Nähe der gesuchten Temperatur a_e gehalten und dann äußerst schroff abgeschreckt. Auf diese Weise kann man den mikroskopischen Zustand des Stahles vor der Abschreckung festhalten. Dann hat man die abgeschreckten Proben mikroskopisch untersucht und festzustellen versucht, ob eine Perlitbildung, wie in der Mitte der Fig. 1, bereits erfolgt war, oder ob sich noch die unveränderten homogenen γ-Kristalle, wie oben auf Fig. 1, erhalten hatten. Der Vorzug dieser Methode der thermischen gegenüber bestand darin, daß man die zur Erreichung des Gleichgewichts erforderlichen Zeiten beliebig ausdehnen und so die Verzögerungserscheinungen weitgehend beseitigen konnte.

Aber auch die Resultate dieser Untersuchungen waren nicht sehr befriedigend. Verschiedene Forscher erhielten Reihen von Temperaturzahlen für a_e, die zum Teil recht stark voneinander abwichen, und es bedurfte einer schwierigen kritischen Equilibristik, um hieraus mit einiger Wahrscheinlichkeit die wahren Werte für a_e zu erschließen, wie das z. B. *Guertler* in seinem Handbuch tun mußte.

Whiteley weist darauf hin, daß diese Schwierigkeiten zum Teil daher rühren, daß die Verzögerungen bei der Perlitbildung bei der Abkühlung viel hartnäckiger sind, als man meistens angenommen hat. Bei einem Stahl mit 0,20 % C (und 0,52 % Mn) fand *Whiteley*, daß nach jedesmaliger Erhitzung während 1 h bei verschiedenen Temperaturen und darauffolgender Abschreckung die Perlitbildung etwa wie auf Fig. 1 erst unterhalb 690° (685—690°) und der Beginn einer Bildung der γ-Kristalle erst zwischen 715 und 720° mikroskopisch festzustellen war.

Um die genaue Lage der Gleichgewichtstemperatur a_e festzustellen, hat *Whiteley* Proben benutzt, die bereits geringe Fragmente (Keime) des Zementits enthielten. Diese Proben wurden wie vorhin erhitzt, dann abgeschreckt, und mikroskopisch festgestellt, ob die Zementitkeime größer oder kleiner geworden waren. Auf diese Weise wurde die Gleichgewichtstemperatur a_e zu etwa 705—710°, und zwar unabhängig von der Kohlenstoffkonzentration festgestellt.

Bei der Abkühlung findet die Perlitbildung in Abwesenheit von Zementitkernen erst nach einer erheblichen Unterkühlung statt. *Whiteley* nimmt im Anschluß an einige andere Forscher ein besonderes *metastabiles* Unterkühlungsgebiet an, innerhalb dessen die Kristallisation oder Umwandlung nur in Gegenwart von Keimen der neuen Kristallphasen eintritt und das beim Perlitpunkt etwa von 710—690° reicht. Unterhalb dieses Gebietes soll die Kristallisation spontan erfolgen. Aus den Arbeiten von *Tammann* und von seinen Schülern wissen wir, daß keine Veranlassung besteht, ein besonderes *metastabiles* Gebiet in diesem Sinne anzunehmen; die spontane Kristallisation tritt auch in diesem Gebiete, allerdings oft erst nach längerer Zeit ein. Die geringere (etwa 5° betragende) Verzögerung in der Bildung der γ-Phase bei höheren Temperaturen ist vermutlich in erster Linie auf verzögerte Kernbildung zurückzuführen. Nachdem die Auflösung des Perlits bereits begonnen hat, treten hier jedoch noch weitere erhebliche Verzögerungen auf, auf die weiter zurückgekommen wird.

Es ist seit langer Zeit bekannt, daß man den lamellaren Perlit (Fig. 1) durch geeignete Wärmebehandlung in einen körnigen (Fig. 2) umwandeln kann. Die theoretischen Grundlagen dieser Behandlung waren kaum erkannt. Meist wurde zu diesem Zwecke ein mehrfaches Überschreiten der perlitischen Gleichgewichtstemperatur nach beiden Richtungen vorgeschlagen. *Honda* und *Saito* (Journ. of the Iron and Steel Inst. 1920 II, S. 261) haben bei einem *hypereutektoiden* Stahl, der also neben Perlit einen Überschuß von bereits bei höherer Temperatur ausgeschiedenen Zementit in gröberen Kristalliter enthält, festgestellt, daß die Bildung von körnigem Perlit erreicht wurde, wenn der Stahl nicht zu hoch über die Gleichgewichtstemperatur erhitzt und dann unterhalb dieser Temperatur gehalten wurde. Sie erklärten das so, daß bei der Erhitzung der Perlit zwar bereits aufgelöst wurde, die gröberen primären Zementitkristalle aber noch nicht. Bei der wiederholten Perlitbildung dienten nun diese als Keime, um welche sich der perlitische Zementit anlagerte, und auf diese Weise das abnorme, *körnige* Aussehen erhielt.

Whiteley fand, daß, wenn der oben erwähnte Stahl mit 0,20 % C während 5 Minuten auf 745°, dann während 20 Minuten auf 700° erhitzt und abgeschreckt wurde, er körnigen Perlit (Fig. 2) aufwies. Diese Perlitbildung war also bei einer um 10—15° höheren Temperatur erfolgt, als sonst die Bildung des lamellaren Perlits. Aus



Fig. 1.



Fig. 2.

einer Reihe ähnlicher Beobachtungen schloß *Whiteley*, daß die Ursache der Perlitbildung in diesem Falle das Vorhandensein von winzigen Zementitkernen war, die sich bei der vorhergehenden Erhitzung auf 745° erhalten hatten. Diese Keime waren vorher ultramikroskopisch fein, und es konnte festgestellt werden, daß die Gegenwart größerer Kerne ohne stärkeren Einfluß war. Wenn der Stahl vorher, statt auf 745°, während 5 Minuten auf 800° erhitzt wurde, fand bei der nachfolgenden Abkühlung die Bildung von normalem lamellaren Perlit unterhalb 690° statt. Eine Erhitzung auf 800° hatte also genügt, um die Keime des Zementits zu zerstören.

Wenn man eine Anwesenheit von Keimen bei der Bildung von körnigem Perlit annimmt, so wird seine Entstehung verständlich. Die unterkühlten γ-Kristalle, aus denen sich der lamellare Perlit bildet, sind sowohl hinsichtlich des Zementits als auch des Ferrits, also der beiden Bestandteile des Perlits, unterkühlt (übersättigt). Findet nun bei genügender Unterkühlung die spontane Ausscheidung der *einen* von diesen beiden Kristallarten statt (beim Perlit scheint es sich hierbei um den Zementit zu handeln), so schreitet sie zunächst, wie das immer bei unterkühlten Phasen der Fall ist, sehr schnell fort. Das führt zu einer sofortigen starken Übersättigung an dem zweiten Bestandteil (Ferrit), der auch zu kristallisieren beginnt. Nun sind in einer stark unterkühlten Phase Keime der beiden Kristall-

arten vorhanden, und die Kristallisation vollzieht sich mit großer Geschwindigkeit unter Bildung der lamellaren eutektoiden Struktur, die der Struktur der aus dem Schmelzen erstarrenden Eutektika durchaus analog ist. Sind dahingegen in einer unterkühlten γ-Phase bereits in größerer Anzahl Zementitkeime vorhanden, so kommt es gar nicht zu einer erheblichen Übersättigung der γ-Kristalle an Zementit, der sich an den Keimen, der Abkühlung folgend, ausscheidet. Die Übersättigung an Ferrit nimmt allmählich zu, und schließlich erstarrt auch dieser. Sind Ansätze von Zementitkristallen in genügender Anzahl vorhanden, so besteht auch hierbei keine Veranlassung zur Entwicklung einer lamellaren Struktur. An den Stellen, wo diese Voraussetzung nicht zutrifft, bildet sich jedoch — wie auch *Whiteley* zeigt — lamellarer Perlit.

Wie ist aber die große Temperaturbeständigkeit der *Zementitkeime*, die sogar bei 745° noch, wenn auch nur für kürzere Zeit, bestehen können, zu erklären? *Whiteley* gibt hierfür keine Erklärung. Erhebliche Konzentrationsverschiebungen in den sich umwandelnden Phasen, die durch *Diffusionsstörungen* Verzögerungen der Umwandlung verursachen könnten, kommen nicht in Frage, da die entstehenden γ-Kristalle dieselbe Zusammensetzung wie der Perlit als Ganzes haben. Zur Erklärung muß man wohl die neuen Beobachtungen von *Tammann* und seinen Schülern sowie von *Groß*[1]) heranziehen, nach denen die Fähigkeit zur spontanen Kristallisation einer reinen Substanz mit der Höhe der vorangegangenen Erhitzungstemperatur über den Schmelzpunkt abnimmt. Zur Erklärung wird angenommen, daß in der Schmelze Keime erhalten oder vorgebildet werden, die dann die Kristallisation beeinflussen. In diesen reinen Schmelzen kann von gröberen Keimen im Sinne von Kristallsplittern oder im phasentheoretischen Sinne natürlich keine Rede sein. Vielmehr scheint es sich um Atom- oder Molekülaggregate zu handeln, deren Verhalten hinsichtlich der homogenen Reaktionskinetik noch ganz ungeklärt ist. Ähnliche „Keime", die also allen Phasen in der Nähe ihrer Schmelz- oder Umwandlungspunkte eigentümlich wären, sind vielleicht auch in den γ-Kristallen anzunehmen, wobei allerdings die Kristallstruktur uns vor neue Probleme stellt.

Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt der Stähle nimmt die Neigung zur Bildung des körnigen Perlits ab. Sehr groß ist sie dahingegen bei Spezialstählen, z. B. bei Chromstählen. Auch hier wird sie von *Whiteley* auf „Keime" zurückgeführt, die jedoch eine erstaunliche Beständigkeit zeigen und noch nach einer Erhitzung auf 100—150° über die Gleichgewichtstemperatur erhalten bleiben.

Die Bildung von lamellarem Perlit beginnt an den Korngrenzen der γ-Kristalle und pflanzt sich in das Innere fort. Die Bildung des körnigen Perlits in den „keim"haltigen γ-Kistallen beginnt dahingegen in ihrer Mitte. Der bereits gebildete körnige Perlit vermag in seiner Umgebung auch die Bildung von lamellarem Perlit einzuleiten oder zu erleichtern. Das ist verständlich, da der körnige Perlit ja bereits die Kristalle der beiden Komponenten — des Ferrits und des Zementits — enthält.

Man sieht, daß diese Untersuchungen, die zunächst den speziellen Bedürfnissen der Metallographie entspringen, allgemeine Probleme prinzipieller Natur aufrollen und auch der physikalischen Chemie neue Forschungsrichtungen weisen. *G. Masing.*

[1]) Vorgetragen in der Jahresversammlung der mineralogischen Gesellschaft im September 1922 in Leipzig.

Über den neuen Flugsaurier Anurognathus Ammoni Döderlein. In der Bayerischen Akademie der Wissenschaften hat *L. Döderlein* am 5. Mai 1923 einen Vortrag über einen Flugsaurier gehalten, der aus den lithographischen Schiefern von Eichstätt stammt und aus dem Besitz *v. Ammons* in seine Hände gekommen war. Dieser Vortrag liegt jetzt in den Sitzungsberichten gedruckt vor. Die Platte zeichnete sich beim ersten Anblick durch deutlichen Abdruck der Flughaut aus, was bei Funden von Pterosauriern immer noch zu den Seltenheiten gehört. Die genauere Untersuchung des Skelettes durch *Döderlein* deckte als weitere Besonderheit vor allem auf, daß dieser Flugsaurier einen stumpfen, stark gewölbten und hinten abgerundeten Kopf und einen stark rudimentären Schwanz gehabt hat, und daß die Proportionen der Hinterbeine auffallend an die von Springtieren erinnern. Vom Flugfinger ist nur die Grundphalange und Teile übriger Phalangen erhalten, wonach *Döderlein* aber die wahrscheinliche Länge des ganzen Fingers gut berechnen konnte.

Was die Stellung in der Systematik des Fossils anbetrifft, so weist der Stummelschwanz auf die Gattung Pterodactylus, aber die stark entwickelte 5. Zehe am Hinterbein, der äußerst kurze Metacarpus, die kurzen Halswirbel und die vollkommene Trennung der beiden Präorbitallücken zwingen, das Objekt in die Gruppe der Rhamphorhynchoidea einzuordnen. Da aber diese sonst langschwänzig sind, nimmt es in dieser Gruppe eine besondere Stellung ein, so daß *Döderlein* für das Tier den neuen Genusnamen Anurognathus einführt.

Was die Untersuchung *Döderleins* so besonders interessant und wertvoll macht, ist die Art, wie er sein Objekt mit anderen Pterosauriern, mit Vögeln und Fledermäusen vergleicht. Er mißt vor allem die Extremitätenabschnitte und setzt die Maße in Beziehung zur Rumpflänge, die er gleich 1 setzt. So erhält er für alle Körperabschnitte vergleichbare relative Maße, wie sie bisher bei vergleichend anatomischen Untersuchungen viel zu sehr vernachlässigt worden sind. In erster Linie sind es diese Maße, die ihm als Grundlage für die biologische Analyse des Fossils dienen, und die biologische Analyse ist es, die uns hier beschäftigen soll, ist doch Anurognathus ein Reptil gewesen, das einmal zu den besten Fliegern gehört haben muß, die wir auch bei den noch lebenden Tieren überhaupt kennen, und dann weil es in seiner anatomischen Konstruktion und deshalb auch seiner Lebensweise eine überraschende Übereinstimmung mit gewissen Vögeln erkennen läßt.

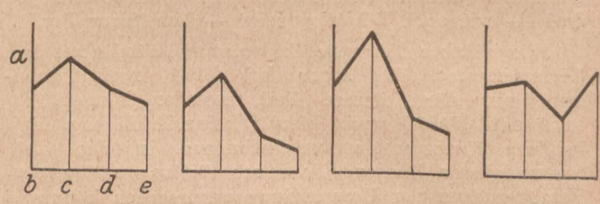
Der Flugapparat des Anurognathus erinnert in seinen Proportionen am meisten an den des Ziegenmelkers, Caprimulgus, und in zweiter Linie an den des Mauerseglers, Apus, dessen Flugfähigkeit jeder im Sommer zu beobachten Gelegenheit hat. In sausender Fahrt fliegt der Segler mit schwirrendem Flügelschlag auf der Insektenjagd über uns zwischen den Häusern der Städte, bald tief unten und gleich darauf hoch oben in den Lüften, so daß es schwer ist, den einzelnen Vogel mit dem Auge sicher zu verfolgen, und fliegt er ins Nest am Dachgiebel, dann ist er wie ein Pfeil schnell dem Blick entschwunden. Ganz so gewandt und schnell wird unser Flugsaurier nicht geflogen sein, denn dafür ist sein Humerus zu lang und zu glatt. Aber daß er nicht taumelnd wie eine Fledermaus, sondern in sausender gerader Fahrt geflogen ist, dafür spricht der ganze gedrungene Habitus, die Form und

der Bau der Wirbelsäule, welche überaus große Ähnlichkeit mit der des Seglers zeigt. Dafür spricht auch die Form und die Größe des Kopfes und die Abstumpfung der Schnauze, wie wir es in ganz ähnlicher Weise beim Mauersegler auch finden. Wie bei diesem Vogel hat der Kopf des Sauriers fest auf den Schultern gesessen, so daß vom Hals nichts zu erkennen gewesen sein muß. Die große Fluggeschwindigkeit macht einen langen Hals eben unmöglich. Große Augen waren nötig, damit Anurognathus wie der Segler im Fluge die Insekten erblicken konnte und ebenso wie der Segler benötigte er eine breite stumpfe Schnauze zur Erbeutung dieser Nahrung. Das deutet also zweifellos darauf hin, daß Anurognathus und der Mauersegler identische Ernährungsweisen gehabt haben, die ihrerseits die Ursache für die ähnliche anatomische Konstruktion auch des Flugapparates gewesen sind. Nach meiner Ansicht muß die Vermutung, Anurognathus habe seine Nahrung möglicherweise im Hängen an den Hinterbeinen erbeutet, wobei die Vorderkrallen die Beute zu ergreifen gehabt hatten, welche Vermutung von *Döderlein* neben der anderen geäußert wird, abgelehnt werden.

Die Hinterbeine dienten während des Fluges als Flugsteuer. Die fünfte Zehe ist nämlich von der Basis des Metatarsus an stark abgespreizt und die übrigen Zehen sind ebenfalls stark gespreizt. Die Platte läßt außerdem zwischen den Zehen eine deutliche Membran erkennen. Ähnlich wie bei manchen Fledermäusen dienten sie also sicherlich als einzeln bewegliche Horizontal- und Vertikalsteuer, während der rudimentäre Schwanz dabei gar keine Rolle spielte.

Vergleicht man weiter die hinteren Extremitäten von Anurognathus mit denen von Fledermäusen, dann erkennt man einen großen Unterschied zwischen beiden, der, abgesehen von der stark abgespreizten und verlängerten 5. Zehe bei Anurognathus, in der Verschiedenheit der Proportionen der Skelettabschnitte liegt. Während der Längenunterschied zwischen Femur und Tibia bei den Fledermäusen gering ist, ist er bei Anurognathus recht auffallend. Vor allem aber sind die ersten vier Metatarsalia bei letzterem zu einem engen Bündel vereinigt und stark verlängert, während der Metatarsus bei Fledermäusen kaum vom allgemeinen Wirbeltiertypus abweicht. Die Fußbildung bei Anurognathus erinnert auf den ersten Blick an die der Frösche, oder auch an die gewisser Halbaffen, zumal Tarsius spectrum. Es ist deshalb ohne weiteres einleuchtend, daß unser Flugsaurier, abgesehen vom Steuern im Fluge, von seinen Beinen einen anderen Gebrauch gemacht haben wird, als es die Fledermäuse tun. *Döderlein* ist der Ansicht, daß man den Fuß als zum Springen geeignet betrachten muß. Er sagt: „Dieser Teil des Hinterfußes erweckt den Eindruck eines digitigraden Fußes, der infolge der Länge und Schmalheit des Metatarsus sich schon einigermaßen zum Springen bzw. Abschnellen vom festen Boden eignet, um so mehr, als Femur und Tibia auch verhältnismäßig lang sind." In dieser Ansicht wird *Döderlein* vor allem durch den Vergleich mit einigen Springmaus-ähnlichen Säugetieren, Dipodomys kolticus, bestärkt. Demnach könnte man etwa annehmen, daß Anurognathus ein bipedes Tier gewesen wäre, und in der Ruhe in halber Aufrichtung auf einer Felsenkante etwa gesessen hätte, wie heute auf den Vogelbergen die Lummen. Da aber die Femora bei Anurognathus wie bei fast allen Reptilien nach den Seiten fast senkrecht zur Körperachse abstanden, muß seine Körperhaltung doch anders gewesen sein. Deshalb nimmt *Döderlein* eine Hockstellung an und ist der Ansicht, „daß das Tier vor dem Abspringen zum Flug etwa die Haltung eines Frosches eingenommen haben mag mit erhobenem Vorderkörper, der sich auf das Ende des Metacarpus stützte, während das Becken auf den Boden gedrückt war". Das stimmt im großen ganzen auch mit meiner Ansicht überein, nur halte ich ein Abspringen zum Flug, etwa dem Sprung des Frosches vergleichbar, für unmöglich und auch für unnötig. Anurognathus wird wie der Mauersegler in Felsenlöchern gehaust haben, und wird sich zum Flug einfach haben fallen lassen.

Warum dann aber das „Sprungbein"? Auch da scheint mir ein Vergleich mit Apus wieder die Antwort zu geben. Wie die beigegebenen „bildlichen Indices"[1]



Turdus Apus Anurogu Rana

a) Rumpf = 1, b) Femur, c) Tibia, d) Tarso-Metatarsus, e) längste Phalange.

der hinteren Extremitäten der Amsel, des Mauerseglers, von Anurognathus und dem Frosch bezogen auf die Rumpflänge = 1 (20 mm), erkennen lassen, ähnelt das Bein des Flugsauriers sehr dem des Seglers, weicht aber erheblich ab von dem des Frosches. Während man das Bein der Singvögel, Turdus, wohl noch als „Sprungbein" bezeichnen kann, trifft das keinesfalls zu für den Segler, da die distalen Abschnitte seines Beines viel zu kurz sind. Wohl aber kann eine solche Konstruktion zur elastischen Federung beim Anflug an den Ruheplatz dienen. Wie die Segler wird Anurognathus die eigenartige Konstruktion seiner Hinterbeine also in Korrelation mit dem reißend schnellen Flug erworben haben, damit die Wucht des Landens beim Anflug federnd aufgefangen werden konnte.

Der Vergleich der anatomischen Konstruktion des Anurognathus mit der des Mauerseglers deckt also eine sehr weitgehende biologische Konvergenz beider Formen auf. Die Pterodactyliden haben sicher fledermausähnlich gelebt. Die Rhamphorynchoiden kamen Anurognathus in bezug auf den Flug sehr nahe, ruhten aber im Gegensatz zu ihm, wie ihre Beinkonstruktion zeigt, auf dem Wasser schwimmend aus. So steht Anurognathus mit seiner seglerähnlichen Lebensweise unter allen bisher bekannten Pterosauriern einzig da.

H. Böker.

Über umkehrbare Prozesse in der organischen Welt schreibt der Hallenser Zoologe *Haecker* eine „Abhandlung zur theoretischen Biologie" (Heft 15, 1922). Die klare, anregende Schrift, welche die verschiedenen Untersuchungsgebiete in Beziehung bringt, ist um so willkommener, als gerade in letzter Zeit der Glaube an die Nichtumkehrbarkeit der Entwicklung wieder energisch aufgetaucht ist, und zwar nicht nur bei der *Paläontologie*, deren Erfahrungskreis sie zu beweisen scheint (*L. Dollo*, Les Céphalopodes déroulés et l'Irré-

[1]) Vgl. *Böker*, Elast. Federungen in den Extremitäten der Wirbeltiere. Zeitschr. f. Morph. u. Anthr. Bd. 23, 1922.

versibilité de l'Evolution — Bijdragen tot de Dierkunde XXII, 1922), sondern auch bei *Zoologen* und *Botanikern* (*D. Keilin*, La Loi de l'Irréversibilité (Dollo), vérifiée par l'Etude des Larves d'Insectes — Bullet. d. l. Soc. Zoolog. d. France XXXX, 1915; *A. Arber*, The Law of Loss in Evolution — Proc. Linnean Soc. London CXXXI, 1919; *A. Arber*, On Atavism and the Law of Irreversibility — Americ. Journ. of Science, IVth Ser. vol. 48, 1919). Die immer wieder gemachte Beobachtung, daß ein in der Stammesgeschichte verloren gegangenes Organ (gerade Schale des Orthoceras — Bauchfüße einzelner Insektenlarven — Wurzeln gewisser Wasserpflanzen) bei neu wieder auftretendem Bedürfnis danach nicht wieder ebenso entwickelt wird, sondern von anderen Organen ersetzt (gestreckte Schale der Ammoniten — Kriechschwielen, Chitinhäkchen — besondere Schößlinge) — hat zu der allgemeinen Ansicht geführt, eine umkehrbare Entwicklung analog der anorganischen Welt sei im Organismenreich überhaupt unmöglich. Freilich werden Bildungs- und Rückbildungsphasen eines Organs sich niemals so genau gleichen, wie die einer chemischen Verbindung. Daß es aber ein organisches „Gesetz der Nichtumkehrbarkeit" nicht geben kann, sagt die *Logik* dem Philosophen *B. Petronievics* (On the Law of Irreversible Evolution — Smithsonian Report 1920): Die Tatsache der Variationsfähigkeit nach allen Seiten schließt auch die in umgekehrter Richtung in sich ein. Zum gleichen Ergebnis führt *Haecker* durch eine aus jahrzehntelanger Erfahrung und hervorragender Belesenheit geschöpfte Menge von Beispielen, welche das Problem von allen Seiten beleuchten. Darunter sind Beweise für die tatsächliche Fähigkeit mancher Organstrukturen, im normalen und experimentell beeinflußten individuellen Entwicklungsgeschehen sich zurückzubilden zu einem indifferenten Zustand, aus dem als Neubildung die ursprüngliche Differenzierung entstehen kann (Wimpern der Stylonichia, vollkommene Restitution der Clavelina). Auch phyletische Prozesse sind reversibel (Auge von Proteus und Munidopsis, Griffelbeine des Pferds); jedoch augenscheinlich nur in Bezug auf einfach-verursachte Rassenmerkmale ohne stärkere korrelative Bindung. Die das „Dollosche Gesetz" belegenden paläontologischen Anpassungseinrichtungen sind aber komplex-verursachte Speziescharaktere, deren zahlreiche korrelative Beziehungen das Zurückverwandeln hemmen. Jedoch liegt es in der Pluripotenz des Keimplasmas begründet, daß spontane Rückschläge einfacher Charaktere immer wieder beweisen, daß die Vorgänge der organischen Welt nicht prinzipiell irreversibel sind.

Tilly Edinger.

Astronomische Mitteilungen.

Massenbestimmungen von Fixsternparallaxen. *Kapteyns* Methode des latenten Bildes hat bisher keine einwandfreien Resultate ergeben. In fast allen Fällen schmiegte sich die Verteilungsfunktion der abgeleiteten Parallaxen so nahe einer Gaußschen Fehlerkurve an, daß die Parallaxen selbst als illusorisch bezeichnet werden mußten. Das gleiche Los trifft eine eben publizierte Arbeit des Radcliffe Observatory[1]). Ihr Verfasser selbst zwar teilt in aller Ausführlichkeit einen Katalog von 2408 Parallaxen mit unter Verzicht auf fast jegliche Diskussion, die ihm gezeigt haben müßte, daß die Parallaxen, so betrüblich dies auch sein mag mit Rücksicht auf die große Mühe, welche darauf verwendet wurde, ruhig ungedruckt bleiben konnten. Bedenklich stimmen muß schon die Tatsache — und das ist der einzige Punkt, der überhaupt besprochen wird in der Einleitung —, daß eine nach Vorzeichen und Größe von Platte zu Platte stark veränderliche „Helligkeitsgleichung" vorhanden ist, deren Elimination problematisch sein muß, da es nicht gelingt, die Ursachen aufzudecken. Untersucht man die Einzelresultate, so findet man, daß die Parallaxen sich vollkommen wie zufällige Fehler verhalten. Es sei dies nur an *einem* Beispiel — wobei ich eine der besten Platten heranziehe — illustriert.

Grenzen	N^+	N^-	N_c^+	N_c^-	$N_{0'',024}$	$N_{0'',026}$
$> 0'',125$	1	0	0	0	0	0
$0'',125$ bis $0'',100$	2	1	1	1	0	1
$0'',100$ „ $0'',075$	10	1	7	1	4	6
$0'',075$ „ $0'',050$	17	20	14	19	16	18
$0'',050$ „ $0'',025$	36	34	38	31	40	40
$0'',025$ „ $0'',000$	55	75	70	70	66	61
Summe	121	131	130	122	126	126

Die Platte a der Gruppe 5 ergibt 252 Parallaxen (π), die sich auf die in der Tabelle angegebenen Intervalle nach Maßgabe der Zahlen N+ (positive π) und N− (negative π) verteilen. Die ursprüngliche Verteilungsfunktion zeigt eine deutliche Unsymmetrie in dem Sinne, daß negative Parallaxen häufiger vorkommen als positive. Dieses Verhältnis wird erst durch Anbringung der „Helligkeitsgleichung" um ein Geringes zugunsten der positiven π verschoben (Zahlen N_c^+ und N_c^-) Aber die neue Kurve schmiegt sich so gut einer symmetrischen Fehlerkurve mit dem wahrscheinlichen Fehler $\pm 0'',024$ an ($N_{0'',024}$), wie dies kaum besser der Fall sein könnte. Aus der Ausgleichung der Plattenausmessung selbst war ein w. Fehler von $\pm 0'',026$ hervorgegangen, so daß also die Streuung der π sogar noch etwas geringer ist als nach der Genauigkeit der Beobachtungen zulässig wäre.

Noch ein Vergleich ist lehrreich. Eine Reihe von Platten wurden gleichzeitig in Groningen ausgemessen und reduziert. *Rambaut* verzichtet auf einen ausführlichen Vergleich und teilt die Groninger Resultate ohne Kommentar mit. Bildet man aber die Differenzen Groningen—Radcliffe, so fällt deren Größe sofort in die Augen. Ich habe den Vergleich für die Gruppe 1 durchgeführt und finde folgende Verteilung der Differenzen der Parallaxen:

Grenzen	N^+	N^-	N_t^+	N_t^-
$> 0'',120$	8	4	3	1
$0'',120 - 0'',080$	9	10	11	6
$0'',080 - 0'',040$	26	20	34	22
$0'',040 - 0'',000$	58	48	58	48
Summe....	101	82	106	77

[1]) Determination of stellar parallaxes from photographs taken with the 24-inch refractor of the Radcliffe Observatory. Oxford 1923.

$N+$ und $N-$ sind wieder die beobachteten Anzahlen. Man sieht, daß bemerkenswert große Differenzen vorkommen. Das Maximum der Häufigkeit liegt bei etwa $+0'',010$ (mit Rücksicht auf den vorliegenden Zweck wurde umstehende Tabelle aus einer mit engeren Intervallen gerechneten zusammengezogen) und der wahrscheinlichste Wert ist $\pm 0'',033$. Damit ergeben sich die Zahlen N_t^+ und N_t^-, welche die Beobachtungen im ganzen befriedigend darstellen. Es kommen nur mehr große Abweichungen vor als theoretisch zulässig. Da der w. F. der Radcliffe-Werte allein etwa den Betrag $\pm 0'',035$ für die in Frage kommenden Platten erreicht, erkennt man auch hier wieder, daß die Streuung der Differenzen und damit der Parallaxen selbst kleiner ist, als nach der Beobachtungsgenauigkeit zulässig wäre. Die Parallaxen selbst sind jedenfalls vollkommen illusorisch.

Es erhebt sich nun die Frage: Trifft das gefällte Urteil die Methode ganz allgemein oder nur die vorliegende spezielle Beobachtungsreihe? Durch Verwendung mächtigerer, vor allem langbrennweitiger Instrumente läßt sich natürlich die innere Genauigkeit der Beobachtungen erhöhen. Man darf aber nicht vergessen, daß die Steigerung der Genauigkeit der neueren Parallaxenmessungen viel mehr einem anderen Umstande zu verdanken ist: der Ausscheidung der systematischen Fehler, insbesondere der Helligkeitsgleichung. Wie aber will man bei der Kapteynschen Methode Gleichheit der scheinbaren Helligkeiten erreichen? Die Zweifel an dieser Möglichkeit haben *van Rhijn* zu einer Modifikation der Methode veranlaßt, die er auf der Astronomenversammlung in Potsdam gesprächsweise schon erörterte und jetzt in der Einleitung zu Publ. Groningen 34 erneut in Vorschlag bringt: Man solle nicht die Einzelparallaxen aller Sterne auf der Platte ableiten, sondern nur zwei Gruppen bilden, Sterne mit großer und solche mit kleiner EB. Die Verteilungsfunktionen der Parallaxen beider Gruppen werden theoretisch verschiedene Häufigkeitsmaxima aufweisen müssen und deren Differenz würde dann die relative mittlere Parallaxe der beiden Gruppen von Sternen und damit eine wertvolle Prüfung der Kapteynschen mittleren Parallaxen liefern. *Van Rhijn* rechnet aus, daß, um die nötige Genauigkeit zu erreichen, 700 Platten der bisher üblichen Art nötig seien. Er macht dabei aber den alten Fehlschluß, daß die Genauigkeit des Mittels mit der Wurzel aus der Anzahl der Beobachtungen wachse. Wenn, wie dies oben gezeigt wurde, auf jeder einzelnen Platte die Parallaxen sich so genau wie zufällige Fehler verhalten, dann nützt auch die Vermehrung der Plattenzahl nicht viel. Sonst müßte man ja auch — ein bekannter krasser Vergleich — mit einem Wagenrad schließlich Sterndeklinationen erlangen können, welche so gut wären wie moderne Meridiankreisbeobachtungen.

Die Schwierigkeiten, auf trigonometrischem, d. h. direktem Wege, zu einer größeren Anzahl brauchbarer Parallaxen zu gelangen, haben zum Vorschlag verschiedener indirekten oder statistischen Methoden Veranlassung gegeben. Es sei nur erinnert an die spektroskopischen Parallaxen des Mt.-Wilson (und neuerdings auch des Harvard-Obs.) und die mittleren Parallaxen *Kapteyns* (über die demnächst ausführlicher zu berichten sein wird). In dieser Richtung bewegt sich auch ein Gedanke *Shapleys*, der sich in der Einleitung zu Harv. Circ. 243 findet und wohl nicht allgemein ohne Widerspruch aufgenommen werden dürfte. Es seien die wichtigsten Sätze daraus zitiert:

„Das Problem der Entfernungen und der Verteilung der Sterne beginnt sich in die zwiefache Aufgabe aufzulösen, einerseits die Sterne nach ihren absoluten Helligkeiten zu sondern (im wesentlichen auf der Grundlage der Spektralklassen), andererseits ihre scheinbaren Helligkeiten zu messen. . . . Die absoluten Helligkeiten für die meisten Klassen der Sterne können jetzt schon mit derselben Genauigkeit angegeben werden, als ihre scheinbaren Helligkeiten bekannt sind."

Aus den scheinbaren Helligkeiten und den Spektraltypen des Henry-Draper-Katalogs leitet dann *Shapley* für 105 529 Sterne der Typen B 8 bis M (unter Ausschluß der Typen von F 8 bis G 5) und der scheinbaren Helligkeiten von 6,25 bis 9,25 die Parallaxen ab, indem er für die einzelnen Klassen die folgenden absoluten Helligkeiten ansetzt:

B 8,9	: $0,^M0$	$\pm 0,^M4$	F 0	: $2,^M4$	$\pm 0,^M4$	K 2	: $0,^M5$	$\pm 0,^M3$
A 0	: 0,6	$\pm$ 0,4	F 2	: 2,8	$\pm$ 0,4	K 5	: 0,2	$\pm$ 0,3
A 2,3	: 1,2	$\pm$ 0,4	F 5	: 3,5	$\pm$ 0,35	M	: 0,0	$\pm$ 0,3
A 5	: 1,7	$\pm$ 0,45	K 0	: 0,6	$\pm$ 0,4			

Hier sind Voraussetzungen gemacht, die nicht unwidersprochen bleiben können:

„Die meisten F-Sterne im Henry-Draper-Katalog sind Zwerge; die A-, K- und M-Sterne sind hauptsächlich Riesen." Solange wir so wenig über das Mischungsverhältnis von Riesen und Zwergen wissen, als dies heute tatsächlich der Fall ist, entbehrt diese Behauptung der nötigen Grundlagen. Und selbst wenn dieses Verhältnis für die K 0- und K 2-Sterne von *Shapley* mit 4 : 1 nicht noch viel zu günstig angesetzt wäre, befände man sich doch bereits in 20% aller Fälle in völliger Unsicherheit bezüglich der Parallaxe. Bei den F-Sternen aber ist bekanntlich die reinliche Scheidung von Riesen und Zwergen bereits so schwierig, daß die angesetzten möglichen Schwankungen der absoluten Helligkeiten mehr als problematisch sind. Die Behauptung: „Da nahezu alle die tabulierten Sterne Parallaxen haben kleiner als ein hundertstel Sekunde, ist die Genauigkeit der angegebenen Entfernungen unzweifelhaft größer, als sie gegenwärtig auf trigonometrischer Grundlage möglich ist", ist richtig insofern, als wir so kleine Parallaxen in der Tat trigonometrisch nicht messen können; aber diese Entfernungen sind illusorisch, wenn ein großer Prozentsatz der Sterne nicht, wie vorausgesetzt, Riesen und die Parallaxen dann um ein Vielfaches zu klein sind. Das von *Shapley* aufgestellte Prinzip ist eine Verfeinerung des in den Anfängen der Stellarastronomie benutzten: alle Sterne haben durchschnittlich die gleiche absolute Helligkeit. Er schränkt den Begriff „alle Sterne" nur ein auf „alle Sterne desselben Spektraltypus". Diese Einschränkung und damit die bloße Bestimmung von Spektraltypus und scheinbarer Helligkeit reicht aber keineswegs aus. Es muß für die späten Typen (K und M) zum mindesten noch die qualitative Unterscheidung zwischen Riesen und Zwergen hinzukommen, während für das Gebiet an der Spitze des „Keiles" des Russelschen Diagrammes (also für die Typen etwa zwischen A 5 und G 5) eine Bestimmung der absoluten Helligkeiten auf spektroskopischer Grundlage (Messung der Linienintensitäten) unerläßlich erscheint.

Kienle.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9 — Druck von H. S Hermann & Co in Berlin SW 19